BEFS

BIOENERGÍA Y SEGURIDAD ALIMENTARIA
ÉVALUACIÓN RÁPIDA (BEFS RA)

Manual de Usuario

BIOGÁS COMUNITARIO

Las denominaciones empleadas en este producto informativo y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, por parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), juicio alguno sobre la condición jurídica o nivel de desarrollo de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites. La mención de empresas o productos de fabricantes en particular, estén o no patentados, no implica que la FAO los apruebe o recomiende de preferencia a otros de naturaleza similar que no se mencionan.

Las opiniones expresadas en este producto informativo son las de su(s) autor(es), y no reflejan necesariamente los puntos de vista o políticas de la FAO.

© FAO, 2014

La FAO fomenta el uso, la reproducción y la difusión del material contenido en este producto informativo. Salvo que se indique lo contrario, se podrá copiar, descargar e imprimir el material con fines de estudio privado, investigación y docencia, o para su uso en productos o servicios no comerciales, siempre que se reconozca de forma adecuada a la FAO como la fuente y titular de los derechos de autor y que ello no implique en modo alguno que la FAO aprueba los puntos de vista, productos o servicios de los usuarios.

Todas las solicitudes relativas a la traducción y los derechos de adaptación así como a la reventa y otros derechos de uso comercial deberán dirigirse a www.fao.org/contact-us/licence-request o a copyright@fao.org.

Los productos de información de la FAO están disponibles en el sitio web de la Organización (www.fao.org/publications) y pueden adquirirse mediante solicitud por correo electrónico a publications-sales@fao.org.

Evaluación Rápida BEFS

Módulo Opciones de Uso Final de la Energía

Sub-Módulo Calefacción y Cocina

Biogás Comunitario

Manual de Usuario

Menciones

La Evaluación Rápida BEFS (BEFS RA) es el resultado del trabajo de un equipo técnico integrado por los siguientes autores, nombrados en orden alfabético[1]: Giacomo Branca (Universidad de la Tuscia, Viterbo), Luca Cacchiarelli (Universidad de la Tuscia, Viterbo), Carlos A. Cardona (Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales), Erika Felix, Arturo Gianvenuti, Ana Kojakovic, Irini Maltsoglou, Jutamanee Martchamadol, Luis Rincon, Andrea Rossi, Adriano Seghetti, Florian Steierer, Heiner Thofern, Andreas Thulstrup, Michela Tolli, Monica Valencia (Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales) y Stefano Valle (Universidad de la Tuscia, Viterbo).

También se recibieron aportes y contribuciones de Renato Cumani, Amir Kassam, Harinder Makkar, Walter Kollert, Seth Meyer, Francesco Tubiello y su equipo, Alessio d'Amato (Universidad de Roma, Tor Vergata) y Luca Tasciotti.

Queremos agradecerle al Grupo de Trabajo de bioenergía y seguridad alimentaria de Malawi[2], al Consejo Nacional de Biocombustibles[3] y al Grupo de Trabajo Técnico en Filipinas por la participación en la prueba piloto del BEFS RA y por sus útiles aportes. Asimismo, queremos expresar nuestro agradecimiento a Rex B. Demafelis y a su equipo de la Universidad de Filipinas "Los Baños" por su valioso apoyo durante la prueba piloto.

La Evaluación Rápida BEFS se ha beneficiado de las observaciones formuladas en la reunión de revisión de los pares, la cual tuvo lugar en la oficina central de la FAO en febrero 2014. En dicha reunión participarón: Jonathan Agwe (International Fund for Agricultural Development); Adam Brown (International Energy Agency); Michael Brüntrup (German Institute for Development Policy); Tomislav Ivancic (Comisión Europea); Gerry Ostheimer (UN Sustainable Energy for All); Klas Sander (World Bank); James Thurlow (International Food Policy Research Institute); Arnaldo Vieira de Carvalho (Inter-American Development Bank); Jeremy Woods (Imperial College, University of London) y Felice Zaccheo (Comisión Europea). También se recibieron aportes de gran utilidad de Duška Šaša (Energy Institute Hrvoje Požar, Zagreb).

Además, queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a Monique Motty e Ivonne Cerón Salazar (Universidad del Tolima, Colombia) por su ayuda en la finalización de las herramientas y documentos.

El trabajo se llevó a cabo en el contexto del Proyecto Evaluación Rápida BEFS (GCP/GLO/357/GER) financiado por el Ministerio Federal Alemán de Alimentación y Agricultura (BMEL).

[1] A menos que se especifique lo contrario, todos los autores estaban afiliados con FAO en el momento de su contribución.

[2] El Grupo de Trabajo BEFS en Malawi consiste de los siguientes miembros: Ministry of Energy, Ministry of Lands, Housing, and Urban Development, Ministry of Finance, Ministry of Agriculture and Food Security, Ministry of Environment and Climate Change and Department of Forestry, Ministry of Industry and Trade, Ministry of Economic Planning and Development, Ministry of Labour and Vocational Training, Ministry of Transport and Public Infrastructure, Ministry of Information and Civic Education, Ministry of Local Government and Rural Development.

[3] El National Biofuels Board está presidido por el Secretary of Department of Energy e incluye los siguientes miembros: Department of Trade and Industry, Department of Science and Technology, Department of Agriculture, Department of Finance, Department of Labor and Employment, Philippine Coconut Authority, Sugar Regulatory Administration.

Volúmenes de los Manuales de Usuario BEFS RA

I. Introducción al Planteamiento y los Manuales

II. Módulo Situación Actual del País

III. Módulo Recursos Naturales

1. Cultivos

    Sección 1: Producción de Cultivos

    Sección 2: Presupuesto Agrícola

2. Residuos Agropecuarios

    Residuos Agrícolas y Residuos Ganaderos

3. Madera Combustible y Residuos de Madera

    Sección 1: Aprovechamiento Forestal y Residuos del Aprovechamiento de la Madera

    Sección 2: Presupuesto para Plantaciones de Madera como Combustible

IV. Módulo Opciones de Uso Final de la Energía

1. Productos Intermedios o Finales

    Sección 1: Briquetas

    Sección 2: Pellets

    Sección 3: Carbón Vegetal

2. Calefacción y Cocina

    Biogás Comunitario

3. Electrificación Rural

    Sección 1: Gasificación

    Sección 2: Aceite Vegetales Crudos

    Sección 3: Combustión

4. Calor y Electricidad

    Sección 4: Cogeneración

    Sección 5: Biogás Industrial

5. Transporte

    Etanol y Biodiesel

Tabla de Contenidos

1 Resumen del Módulo Opciones de Uso final de la Energía (Uso Final) 3
2 El *Componente Biogás Comunitario* 5
3 Términos y Definiciones utilizados en el *Componente Biogás Comunitario* 8
4 Alcance y Objetivo del *Componente Biogás Comunitario* 8
5 Ejecutar el *Componente Biogás Comunitario* 9
5.1 Paso 1: Demanda energética 12
5.2 Paso 2: Ingreso de datos 12
5.3 Paso 3: Cálculo de los costos de producción de biogás 17
6 Supuestos y Limitaciones del *Componente Biogás Comunitario* 18
7 Resultados del *Componente Biogás Comunitario* 18
7.1 Resumen del cálculo de los costos de producción (opcional) 18
7.2 Resumen de resultados por tamaño 20
7.3 Resumen de los resultados comparativos 23
8 Anexo 25
8.1 Metodología y Resultados 25
8.1.1 Producción volumétrica de biogás 25
8.1.2 Material de construcción 26
8.1.3 Propiedades del estiércol 26
8.1.4 Propiedades del Biogás 28
8.1.5 Propiedades de Bio-lodos 28
8.1.6 Cálculos 29
8.2 Datos requeridos para ejecutar la herramienta 29
9 Referencias 31

Lista de Figuras

Figura 1: Estructura del Módulo Uso Final de la Energía 3
Figura 2: Sistema de Producción de Biogás para la Generación de Energía Rural 5
Figura 3: Disposición de las Hojas de los Resultados Biogás Comunitario 7
Figura 4: Herramienta de Evaluación Rápida para la Producción de Biogás 9
Figura 5: *Componente Biogás Comunitario*: Flujo del Análisis y las Relaciones con Módulos y Componentes de la Evaluación Rápida BEFS 10
Figura 6: Descripción del Proceso Biogás 11
Figura 7: Demanda Energética para la Producción de Biogás 12
Figura 8: Tipo de Estiércol y Tamaños de Definición 13
Figura 9a: Insumos generales 14
Figura 10: Demanda Energética y Perfil de los Hogares 15
Figura 11: Beneficios Sociales 16
Figura 12: Evaluación de los Costos de Producción 17
Figura 13: Costo del Procesamiento de Biogás 17
Figura 14: Costos de Producción Detallados en la Producción de Biogás 19
Figura 15: Resultados de Costos de Producción y de la Inversión 20
Figura 16: Resultados de Beneficios Sociales 21
Figura 17: Resultados de Beneficios Económicos 22
Figura 18: Resultados del Análisis Financiero 23
Figura 19: Esquema de los Resultados Comparativos 24

Lista de Tablas

Tabla 1: Propiedades Básicas del Estiércol 26
Tabla 2: Análisis Último del Estiércol 27
Tabla 3: Análisis Próximo del Estiércol 27
Tabla 4: Propiedades del Modelo de Contoin 27
Tabla 5: Composición del Biogás 28
Tabla 6: Valores de N-P-K de los Bio-lodos 28
Tabla 7: Datos Requeridos para Ejecutar la Herramienta 30

1 Resumen del Módulo Opciones de Uso final de la Energía (Uso Final)

Como se explicó en la introducción general del manual de instrucciones de la Evaluación Rápida BEFS, el módulo de *Opción de Uso Final de la Energía* se utiliza para evaluar la viabilidad tecno-económica y socio-económica de las diferentes rutas de producción de bioenergía. El modulo se divide en cinco secciones, las cuales son: Productos Intermedios o Finales, Calefacción y Cocina, Electrificación Rural, Calor y Electricidad y Transporte. Cada uno de los sub-módulos incluye la selección de componentes de análisis para evaluar la producción de biocombustibles específicos basados en una tecnología de proceso particular, como se muestra en la Figura 1. Este módulo se construye con la información generada en los módulos de *Recursos Naturales* en relación con la materia prima. Para información más detallada del módulo refiérase a la introducción general del manual de instrucciones.

OPCIONES DE USO FINAL DE ENERGÍA
Pretratamiento
Productos Intermedios o Finales[1]
Componente Briquetas
Componente Pellets
Componente Carbón Vegetal
PEQUEÑA ESCALA
GRAN ESCALA
Sub-Módulo Calefacción y Cocina
Sub-Módulo Electrificación Rural
Sub-Módulo Calor y Electricidad
Sub-Módulo Transporte
Componente Biogás Comunitario
Componente Gasificación
Componente AVC
Componente Combustión
Componente Cogeneración
Componente Biogás Industrial
Componente Etanol
Componente Biodiesel
RESULTADOS TECNO-ECONÓMICOS Y SOCIO-ECONÓMICOS
PROCESO DE TOMA DE DECISIONES POLÍTICAS
[1]Estos productos pueden ser utilizados ya sea como productos finales para calefacción y cocina o como productos intermedios en las opciones de electrificación rural de gasificación y combustión.

Figura 1: Estructura del Módulo Uso Final de la Energía

Una descripción general de cada sub-módulo y sus respectivos componentes de análisis es presentado a continuación. Una discusión más detallada de cada componente de análisis se proporciona en su respectivo manual.

El sub-módulo **Productos Intermedios o Finales** se utiliza para evaluar la viabilidad de producir briquetas, pellets y carbón vegetal. Los componentes **Briquetas/Pellets** se utilizan para evaluar el potencial de desarrollo de producción de briquetas/pellets para suplir energía para la cocina y la calefacción en viviendas rurales y urbanas. El objetivo de este análisis es generar información sobre los costos de producción, requerimientos de biomasa y parámetros de viabilidad financiera y social que ayude a los usuarios en la decisión de promover la producción de briquetas/pellets en el país. El componente **Carbón Vegetal** es usado para comparar las tecnologías actuales de producción de carbón con tecnologías mejoradas y más eficientes. El objetivo de este análisis es evaluar el costo capital inicial de las tecnologías mejoradas, la viabilidad financiera desde el punto de vista de los productores de carbón y los beneficios sociales y económicos que las tecnologías mejoradas puedan acarrear cuando son comparadas con las tecnologías de producción de carbón existentes. Los resultados generados mediante el análisis proporcionan información sobre los posibles obstáculos de incorporar las tecnologías mejoradas por parte de productores y ayuda a definir cómo difundir efectivamente su introducción.

El sub-módulo **Calefacción y Cocina** se utiliza para evaluar la viabilidad de producir carbón, briquetas y biogás. El componente **Biogás Comunitario** es usado para evaluar el potencial de producción de biogás a partir de estiércol a nivel doméstico y comunitario y compara tres tipos de tecnologías. El componente genera información sobre: 1) La cantidad de biogás que se puede producir basado en la disponibilidad de estiércol, 2) El tamaño del biodigestor necesario para aprovechar la energía, 3) Los costos de instalación de los tres tipos de tecnologías de biodigestión. El componente también proporciona parámetros financieros, sociales y económicos que ayudan al usuario a comprender las posibles oportunidades y los requerimientos necesarios para la implementación de la tecnología de producción de biogás en sus países.

El sub-módulo **Electrificación Rural** se utiliza para evaluar la viabilidad de proporcionar electricidad a partir de biomasa, en áreas remotas sin acceso a la red eléctrica. Este sub-módulo está compuesto de tres diferentes tecnologías descentralizadas para la electrificación: gasificación, uso de aceite vegetales crudos (AVC), combustión. Los resultados obtenidos por este sub-módulo, generan estimados de los costos de la generación de electricidad y distribución, calculan la viabilidad financiera de electrificación e informan sobre los resultados sociales y económicos asociados a cada vía tecnológica. El componente **Gasificación** analiza la combustión parcial de biomasa para generar una mezcla de gases que posteriormente puede usarse en motores de gas para producir electricidad. El componente **Aceite Vegetal Crudos (AVC)** se basa en el componente de Cultivos del módulo de Recursos Naturales. Este evalúa el potencial de utilizar AVC en motores para producir electricidad en lugar de diésel. El componente **Combustión** evalúa la quema de biomasa para producir vapor el cual acciona una turbina a vapor para producir electricidad.

El sub-módulo **Calor y Electricidad** se utiliza para evaluar la viabilidad de la generación de electricidad y calor a partir de biomasa de recursos locales. Este sub-módulo está compuesto de dos diferentes tecnologías descentralizadas para la electricidad y la calefacción: cogeneración y biogás industrial. El componente **Cogeneración** examina el potencial para la producción simultánea de la electricidad y calefacción a partir de una fuente de biomasa, que permite al usuario analizar una producción integrada de fábrica o una operación independiente para la generación de electricidad de la red eléctrica. El componente **Biogás Industrial** evalúa el potencial para desarrollar una industria basada en biogás para electricidad, calefacción, cogeneración o biogás mejorado. Esto se realiza utilizando las aguas residuales, los sólidos de alta humedad, los sólidos de baja humedad o una combinación de éstos. Todas las vías tecnológicas son sencillas, fácilmente disponibles y adaptables a las zonas rurales remotas.

El sub-módulo **Transporte** es usado para evaluar la viabilidad de producir biocombustibles líquidos para el transporte, conocidos como etanol y biodiesel. Este análisis se basa en los resultados generados a partir de los componentes del módulo Recursos Naturales en términos de disponibilidad de materia prima y el presupuesto agrícola. La herramienta envuelve la producción de etanol y biodiesel. En la sección del etanol, el usuario puede evaluar el potencial del desarrollo industrial del etanol en el país. Asimismo, en la sección del biodiesel el potencial de desarrollo de la industria de biodiesel es evaluada. Los resultados del análisis generan estimaciones sobre los costos de producción del biocombustible seleccionado basado en el origen de la materia prima, es decir, materia prima de pequeños agricultores, la combinación de pequeños agricultores/comerciales o comerciales, de acuerdo a cuatro predefinidas capacidades de planta: 5, 25, 50 y 100 millones de litros/año[4]. Estos resultados también contienen información sobre la factibilidad económica y parámetros socioeconómicos. En este componente, el usuario tiene la opción de incluir en la evaluación un

[4] La selección de las capacidades de planta son basadas en la revisión de literatura relevante, por favor ver el Manual de Transporte para más detalles sobre esto.

análisis de las emisiones de gases de efecto invernadero que cubre toda la cadena de suministro de los biocombustibles seleccionados.

Otra opción para el usuario es utilizar la **Calculadora de Pretratamiento** antes de utilizar las herramientas de Uso Final de Energía[5]. Esto permite al usuario calcular los costos adicionales de pre-procesamiento de la biomasa seleccionada con el fin de obtener las condiciones específicas que se requieren para la conversión de biomasa final para el uso final de energía.

2 El *Componente Biogás Comunitario*

La herramienta de Biogás Comunitario está diseñada, para ayudar al usuario a evaluar el potencial de producción de biogás, con el fin obtener energía para la cocina y la calefacción y de esta manera abastecer a los hogares rurales y urbanos. El principal objetivo de la herramienta es generar información que permita al usuario entender, sí el biogás puede ser una fuente de energía alternativa que se pueda promover en las comunidades rurales. La herramienta evalúa el potencial para producir biogás a partir de estiércol de búfalos, bovinos, aves de corral y porcinos. Se analizan al mismo tiempo cuatro diferentes tamaños de biodigestores, dependiendo del número de cabezas de ganado y la respectiva disponibilidad de estiércol. Igualmente, la herramienta se puede utilizar para evaluar el costo de producción de biogás en tres tipos de biodigestores a escala doméstica, estos son: domo fijo, tambor flotante y bolsa de polietileno (tubular). El sistema de producción de biogás que puede ser analizado por esta herramienta se muestra en la Figura 2.

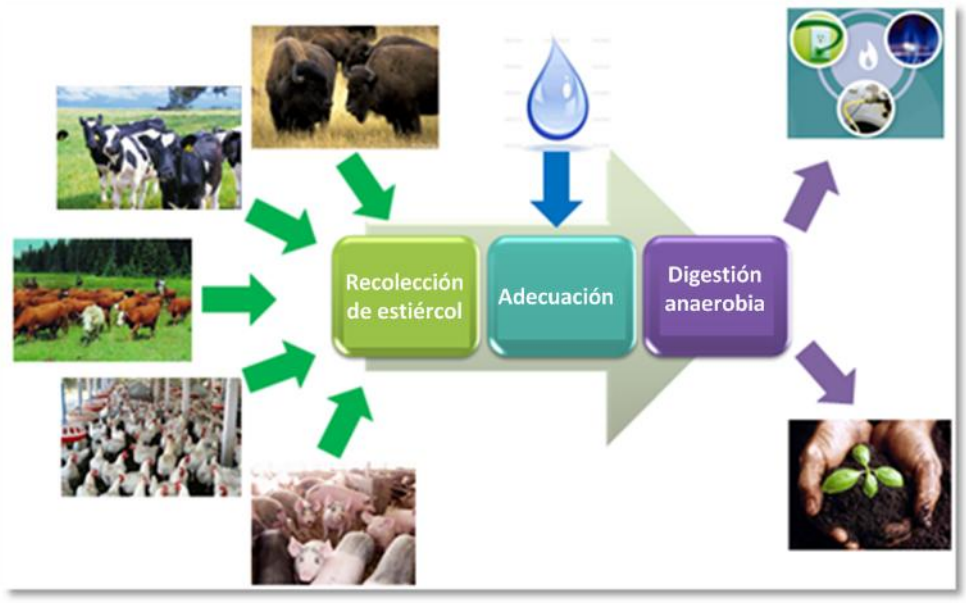
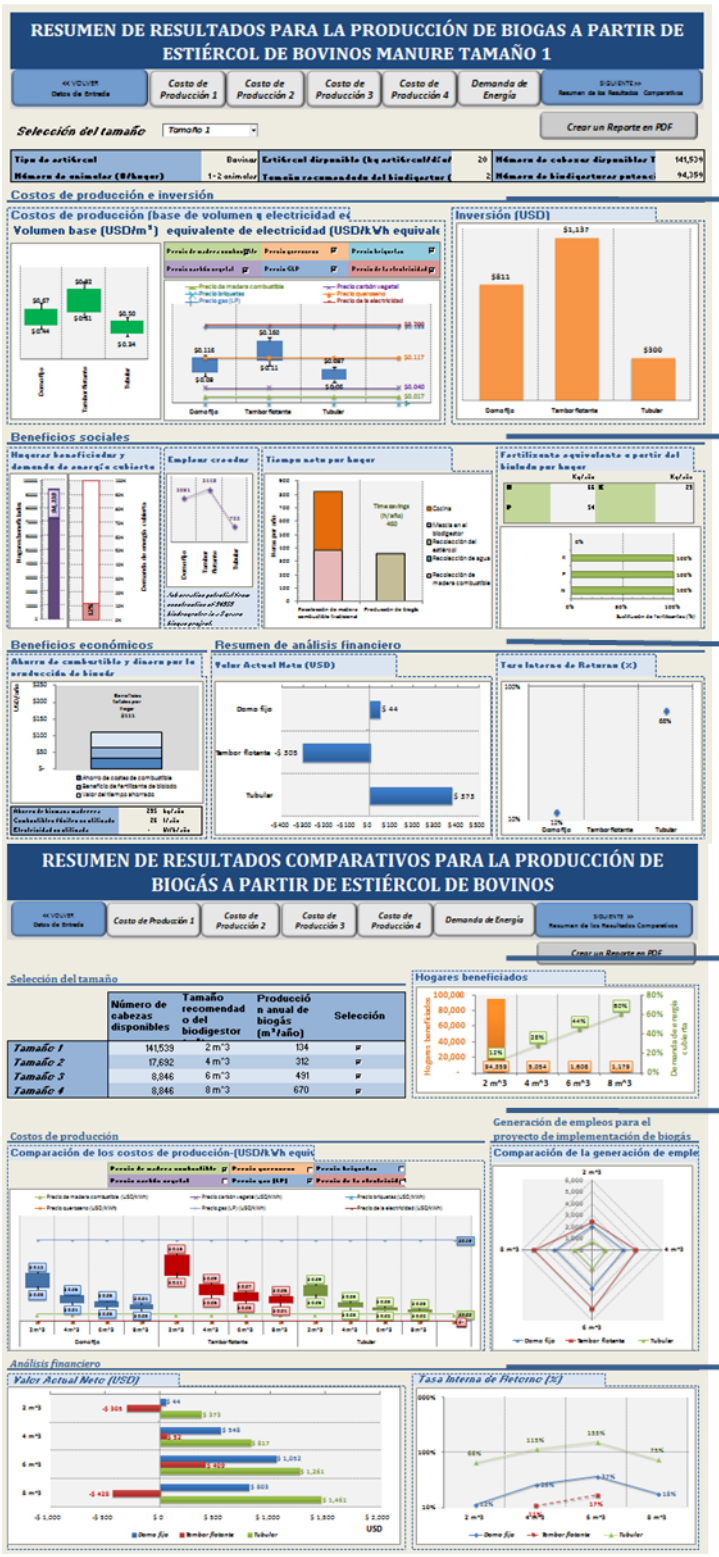


Figura 2: Sistema de Producción de Biogás para la Generación de Energía Rural

Después de completar el análisis, el usuario será capaz de obtener información sobre el volumen potencial de biogás que puede ser producido por día y el tamaño del bioreactor más apropiado, así como la comparación de los costos de inversión para tres diferentes tipos de tecnología de biodigestores, tales como: domo fijo, tambor flotante y bolsa tubular. Para mayor claridad los resultados se muestran en la Figura 3, donde se

[5] La Calculadora de Pretratamiento puede usarse antes de la utilización de las herramientas de Uso Final de Energía. Las excepciones son las herramientas de Biogás Comunitario y Transporte, ya que estas herramientas ya incluyen pre-tratamiento.

proporciona una predicción acerca de: 1) el tamaño recomendado de biodigestor, basado en la cantidad de biogás que se puede producir en función del tipo y la cantidad de estiércol disponible; 2) el costo de la inversión asociado a la construcción de cada una de las tecnologías de biodigestores analizadas y el costo de producción por metro cúbico de biogás generado; 3) el número potencial de viviendas que pueden ser beneficiadas con el biogás producido, para satisfacer sus necesidades de energía para la calefacción y la cocina; y 4) la cantidad de puestos de trabajo que se pueden generar, así como, el potencial ahorro de combustible, dinero y tiempo que se pueden obtener mediante el uso de biogás, en comparación con las actuales fuentes de energía utilizadas en los hogares. Se generan los indicadores financieros como, el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) de la producción de biogás, con el fin de ayudar usuario a evaluar la viabilidad financiera de las diferentes tecnologías de biodigestores.


RESUMEN DE RESULTADOS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS A PARTIR DE ESTIÉRCOL DE BOVINOS MANURE TAMAÑO 1
Costa de Producción 1
Costa de Producción 2
Costa de Producción 3
Costa de Producción 4
Demanda de Energía
Selección del tamaño
Tamaño 1
Crear un Reporte en PDF
Costos de producción e inversión
Inversión (USD)
Beneficios sociales
Beneficios económicos
Resumen de análisis financiero
Valor Actual Neto (USD)
Tasa Interna de Retorno (%)
RESUMEN DE RESULTADOS COMPARATIVOS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE ESTIÉRCOL DE BOVINOS
Selección del tamaño
Hogares beneficiados
Costos de producción
Comparación de los costos de producción-(USD/kWh equi
Generación de empleos para el proyecto de implementación de biogás
Comparación de la generación de empleo
Análisis financiero
Valor Actual Neto (USD)
Tasa Interna de Retorno (%)

Salida General por Tamaño

Los Costos de Producción y los Resultados de las Inversiones:
Costo de producción de biogás y Costo total de inversión

Beneficios Sociales:
Cobertura de los hogares, Total generación de empleos, Balance neto de ahorro de tiempo, y Sustitución de fertilizantes por biolodos

Beneficios Económicos y Análisis Financiero – Antes de Impuestos:
Ahorro de combustible y dinero, Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR)

Salidas Comparativas

Hogares Beneficiados:
Cuadro comparativo de los hogares beneficiados y Demanda de energía cubierta

Costos de Producción y Generación de Empleos:
Cuadro comparativo de los costos de producción (kWh y m^3 base) y Creación de empleos para el proyecto

Análisis Financiero – Antes de Impuestos:
Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR)

Figura 3: Disposición de las Hojas de los Resultados Biogás Comunitario

3 Términos y Definiciones utilizados en el *Componente Biogás Comunitario*

Esta sección incluye las definiciones de los términos específicos utilizados en el *Componente Biogás Comunitario*. Es importante que el usuario conozca y se apropie de estas definiciones ya que son consideradas a lo largo del análisis y le ayudará a interpretar correctamente los resultados.

- **Biogás** es una fuente limpia, eficiente y renovable de energía producida a partir de materiales orgánicos que se pueden utilizar como un combustible alternativo particular. El biogás se genera cuando las bacterias degradan el material orgánico en ausencia de oxígeno, en un proceso conocido como la digestión anaeróbica. El biogás puede utilizarse eficazmente en las estufas de gas simples para cocinar y en las lámparas para la iluminación en las zonas rurales. Puede sustituir el uso de la leña, el carbón o el petróleo. El desarrollo de sistemas de producción de biogás, a escala doméstica en las zonas rurales de los países en desarrollo, es una alternativa atractiva dada la disponibilidad de materia orgánica en estas áreas (por ejemplo, estiércol) y teniendo en cuenta la escasez de leña (madera combustible) o la falta de acceso a los combustibles fósiles en estas comunidades. La implementación de los sistemas de producción de biogás requiere un entendimiento sobre los beneficios técnicos, financieros y no financieros, que estos sistemas pueden generar en el hogar y en los países.
- **Domo Fijo** consiste en un digestor con un gasómetro no móvil fijo, que se encuentra en la parte superior del digestor. Cuando se inicia la producción de gas, los lodos se desplazan hacia el tanque de compensación. Incrementa la presión del gas con el volumen de gas almacenado y la diferencia de altura entre el nivel de los lodos en el digestor y el nivel de lodos en el tanque. No hay piezas de acero oxidable y por lo tanto la vida de la planta se considera de 20 años. La planta está construida bajo tierra, lo que la protege de los daños físicos y adicionalmente, ahorra espacio.
- **Tambor flotante** se compone de un digestor subterráneo y una campana de gas en movimiento. El soporte del gas flota, ya sea directamente en el lodo de fermentación o en una camisa de agua. El gas se recoge en el tambor de gas, que se eleva o se mueve hacia abajo, de acuerdo con la cantidad de gas almacenado. Algunas piezas de acero se oxidan y deben ser cambiadas y re-pintadas. El tiempo de vida del tambor se considera de 20 años.
- **Tubular o bolsa de polietileno** consiste en digestores construidos con dos capas de plástico de polietileno en una forma tubular. Un digestor tubular se coloca en una zanja con una pendiente para facilitar el flujo por gravedad. Es la menos costosa y más fácil de construir; sin embargo, el tiempo de vida es de sólo 10 años.
- **Trabajador semi-especializado** se considera personal con determinada habilidad o experiencia especializada, como los albañiles y técnicos.
- **Trabajador no cualificado** considera el personal con ninguna habilidad especial, que soporta operaciones como ayudantes o llevan a cabo tareas que se pueden aprender fácilmente con unos pocos días de entrenamiento.

4 Alcance y Objetivo del *Componente Biogás Comunitario*

En esta sección de la Evaluación Rápida BEFS, el usuario será capaz de evaluar, a escala doméstica, el potencial de producción de biogás a partir de estiércol, con el fin de ser utilizado como fuente alternativa de combustible para la cocina y la calefacción en las zonas rurales. Los resultados del análisis se pueden utilizar para identificar la viabilidad de la producción de biogás en términos del tamaño más adecuado, la viabilidad

financiera de los diferentes tipos de digestores, el tamaño óptimo, el tipo de digestor y los beneficios socio-económicos, que pueden ser alcanzados desde la producción de biogás en el país de análisis. La herramienta ha sido desarrollada basándose en una revisión extensa de la literatura sobre el tema. Las suposiciones y los cálculos detallados utilizados para desarrollar la herramienta se presentan en el Anexo.

HERRAMIENTA EVALUACIÓN RÁPIDA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS COMUNITARIO
Descripción del Proceso de Obtención de Biogás
Datos de Entrada
SIGUIENTE >>
Demanda de Energía
Descargo de Responsabilidad
La FAO declina cualquier responsabilidad por errores u otros defectos del banco de datos, programa o de la documentación que los acompaña, o por cualquier daño derivado de ellos, así como por el mantenimiento y el mejoramiento de los programas. La FAO declina asimismo cualquier responsabilidad por la actualización de los datos, o por errores u omisiones en los datos que se han proporcionado. Se pide no obstante a los usuarios que señalen eventuales errores o defectos de este producto a la FAO. La elección de los cálculos presente en esta herramienta son las del/de los autor(es) y no reflejan necesariamente las opiniones y elecciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
© FAO, 2014

Figura 4: Herramienta de Evaluación Rápida para la Producción de Biogás

5 Ejecutar el *Componente Biogás Comunitario*

El flujo de análisis dentro del *Componente Biogás Comunitario* y su relación con los otros componentes se muestra en la Figura 5. El usuario tiene la opción de seleccionar los componentes del análisis en un orden diferente, o incluso omitir algunos componentes. Sin embargo, es muy recomendable que el usuario siga el orden y el flujo de análisis como se describe a continuación, dado que el *Componente Biogás Comunitario* se basa en la información generada en el módulo de *Recursos Naturales* y la información puede ser una referencia cruzada con otros módulos para contextualizar los resultados del análisis. Los resultados de este componente son esenciales para la comprensión del análisis, dado que, en la interpretación de un resultado se debe tener en cuenta todos los factores pertinentes, incluso cuando los componentes de análisis se omiten (por ejemplo, aspectos relacionados con la seguridad alimentaria, comercio agropecuario, uso sostenible de los recursos naturales, etc.).

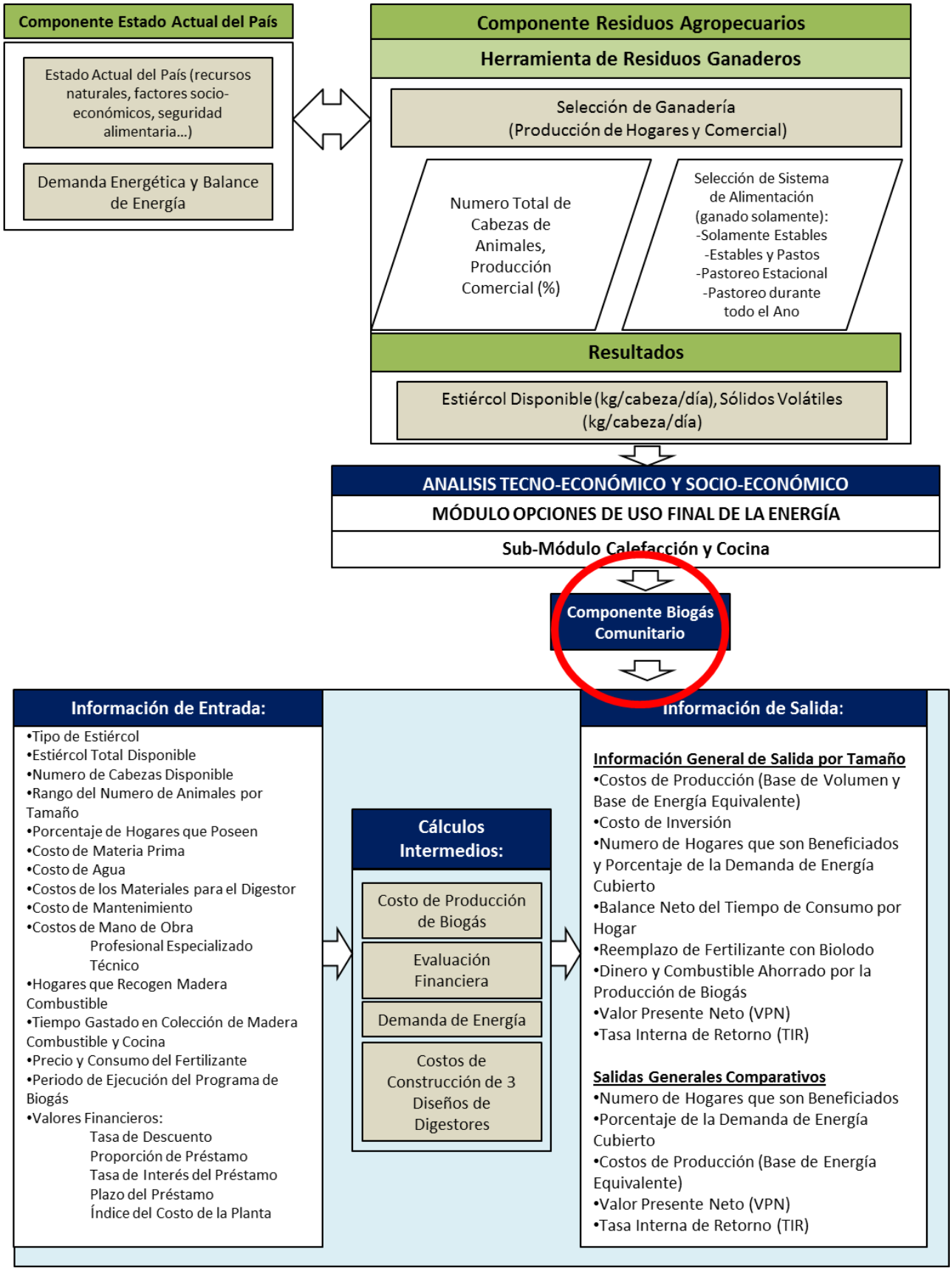

Componente Estado Actual del País
Estado Actual del País (recursos naturales, factores socio-económicos, seguridad alimentaria…)
Demanda Energética y Balance de Energía
Componente Residuos Agropecuarios
Herramienta de Residuos Ganaderos
Selección de Ganadería (Producción de Hogares y Comercial)
Numero Total de Cabezas de Animales, Producción Comercial (%)
Selección de Sistema de Alimentación (ganado solamente): -Solamente Estables -Estables y Pastos -Pastoreo Estacional -Pastoreo durante todo el Ano
Resultados
Estiércol Disponible (kg/cabeza/día), Sólidos Volátiles (kg/cabeza/día)
ANALISIS TECNO-ECONÓMICO Y SOCIO-ECONÓMICO
MÓDULO OPCIONES DE USO FINAL DE LA ENERGÍA
Sub-Módulo Calefacción y Cocina
Componente Biogás Comunitario
Información de Entrada:
•Tipo de Estiércol
•Estiércol Total Disponible
•Numero de Cabezas Disponible
•Rango del Numero de Animales por Tamaño
•Porcentaje de Hogares que Poseen
•Costo de Materia Prima
•Costo de Agua
•Costos de los Materiales para el Digestor
•Costo de Mantenimiento
•Costos de Mano de Obra
Profesional Especializado
Técnico
•Hogares que Recogen Madera Combustible
•Tiempo Gastado en Colección de Madera Combustible y Cocina
•Precio y Consumo del Fertilizante
•Periodo de Ejecución del Programa de Biogás
•Valores Financieros:
Tasa de Descuento
Proporción de Préstamo
Tasa de Interés del Préstamo
Plazo del Préstamo
Índice del Costo de la Planta
Cálculos Intermedios:
Costo de Producción de Biogás
Evaluación Financiera
Demanda de Energía
Costos de Construcción de 3 Diseños de Digestores
Información de Salida:
Información General de Salida por Tamaño
•Costos de Producción (Base de Volumen y Base de Energía Equivalente)
•Costo de Inversión
•Numero de Hogares que son Beneficiados y Porcentaje de la Demanda de Energía Cubierto
•Balance Neto del Tiempo de Consumo por Hogar
•Reemplazo de Fertilizante con Biolodo
•Dinero y Combustible Ahorrado por la Producción de Biogás
•Valor Presente Neto (VPN)
•Tasa Interna de Retorno (TIR)
Salidas Generales Comparativos
•Numero de Hogares que son Beneficiados
•Porcentaje de la Demanda de Energía Cubierto
•Costos de Producción (Base de Energía Equivalente)
•Valor Presente Neto (VPN)
•Tasa Interna de Retorno (TIR)

Figura 5: *Componente Biogás Comunitario*: Flujo del Análisis y las Relaciones con Módulos y Componentes de la Evaluación Rápida BEFS

El usuario navega paso a paso a través de las opciones y se le pide ingresar datos necesarios para obtener los resultados finales. Cuando los datos requeridos son limitados o no están disponibles, pueden utilizarse los valores por defecto proporcionados por la herramienta. Los botones de navegación dentro de la herramienta se encuentran situados en la parte superior e inferior de la hoja. El botón "SIGUIENTE>>" indica el siguiente paso y el botón "<<VOLVER" permite regresar al paso anterior.

En esta sección, se presenta un ejemplo con el fin de ilustrar los pasos detallados del análisis. El ejemplo se basa en el uso de estiércol de vaca para producir biogás en zonas aisladas, donde la mayoría de la energía doméstica es suministrada por la leña (madera combustible). Todos los parámetros de entrada se basan en casos de estudio realizados en Tanzania, revisados por Ratamu 1999 y Schmitz 2007.

Al comienzo del análisis, el usuario tiene tres opciones, con los siguientes botones de navegación: "Datos de Entrada", "Descripción del Proceso de Obtención de Biogás" y "Demanda de Energía", como se muestra en la Figura 4.

1. **Descripción del proceso de biogás**: el usuario será llevado a una representación esquemática de los límites del análisis llevado a cabo en esta sección, como se muestra en la Figura 6.

Nota: Este no es un paso obligatorio. Esta sección presenta usuario una visión general de los límites del análisis.

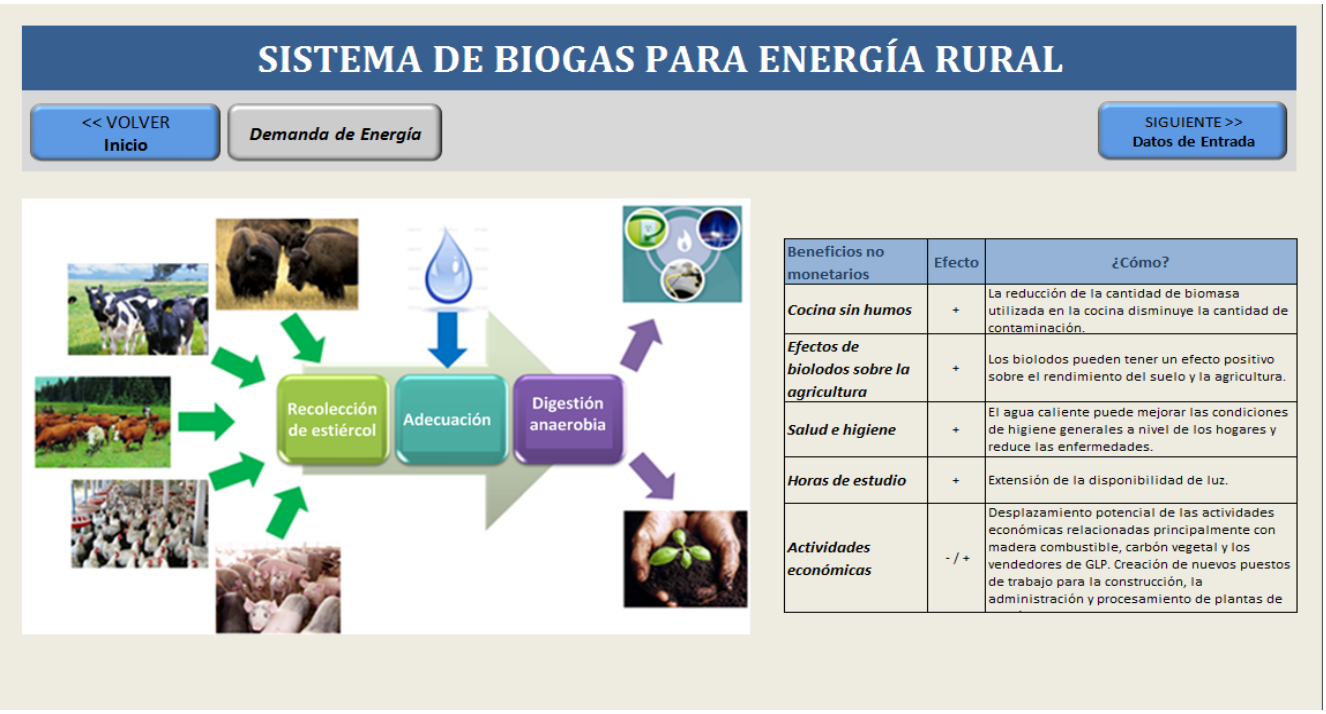
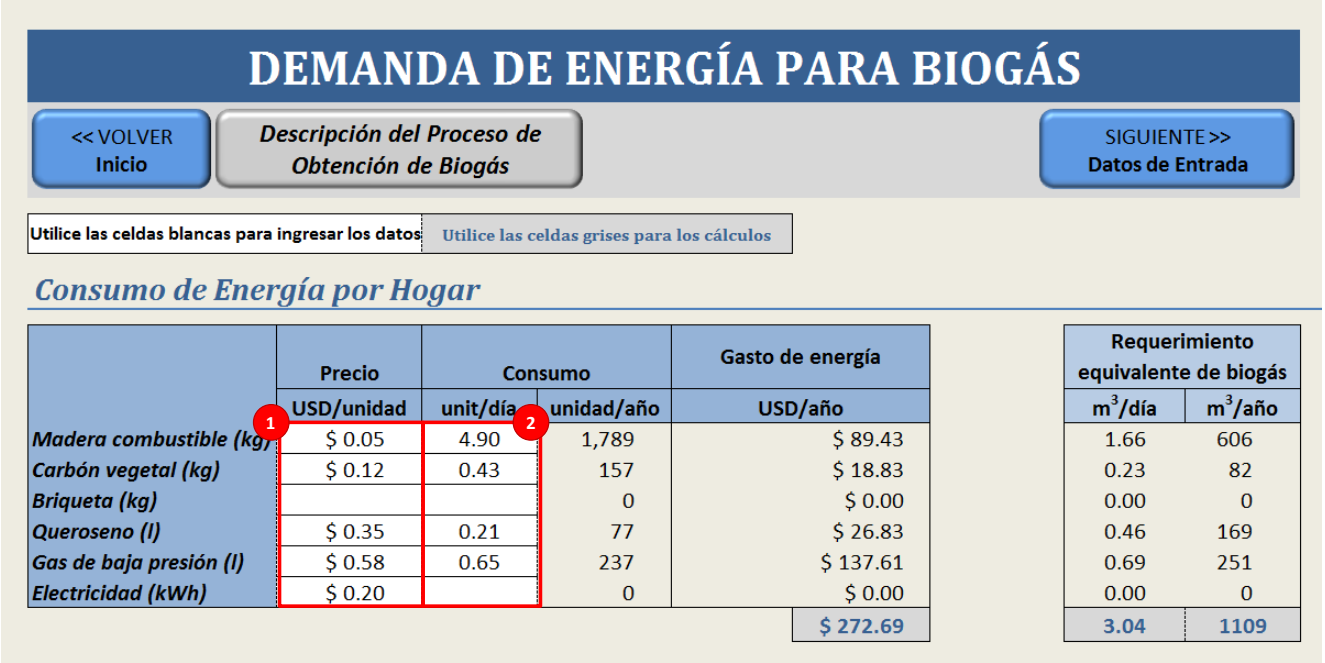

SISTEMA DE BIOGAS PARA ENERGÍA RURAL
<< VOLVER
Inicio
Demanda de Energía
SIGUIENTE >>
Datos de Entrada
Recolección de estiércol
Adecuación
Digestión anaerobia
Beneficios no monetarios
Efecto
¿Cómo?
Cocina sin humos
+
La reducción de la cantidad de biomasa utilizada en la cocina disminuye la cantidad de contaminación.
Efectos de biolodos sobre la agricultura
+
Los biolodos pueden tener un efecto positivo sobre el rendimiento del suelo y la agricultura.
Salud e higiene
+
El agua caliente puede mejorar las condiciones de higiene generales a nivel de los hogares y reduce las enfermedades.
Horas de estudio
+
Extensión de la disponibilidad de luz.
Actividades económicas
- / +
Desplazamiento potencial de las actividades económicas relacionadas principalmente con madera combustible, carbón vegetal y los vendedores de GLP. Creación de nuevos puestos de trabajo para la construcción, la administración y procesamiento de plantas de

Figura 6: Descripción del Proceso Biogás

2. **Demanda Energética:** el usuario tendrá que ir primero a esta sección para completar la información necesaria antes de continuar con el análisis.
3. **Hoja de Entrada de Datos:** el usuario procederá en esta sección para ingresar los datos requeridos para llevar a cabo el análisis. Los pasos detallados para realizar este análisis se presentan a continuación.

5.1 Paso 1: Demanda energética

El usuario debe ingresar el precio en el mercado de los combustibles actuales utilizados en el hogar y sus respectivos volúmenes de consumo. Estos valores se utilizan para calcular el gasto de energía y los requerimientos equivalente de biogás en los hogares (Figura 7).



	Precio	Consumo		Gasto de energía	Requerimiento equivalente de biogás	
	USD/unidad	unit/día	unidad/año	USD/año	m^3/día	m^3/año
Madera combustible (kg)	$ 0.05	4.90	1,789	$ 89.43	1.66	606
Carbón vegetal (kg)	$ 0.12	0.43	157	$ 18.83	0.23	82
Briqueta (kg)			0	$ 0.00	0.00	0
Queroseno (l)	$ 0.35	0.21	77	$ 26.83	0.46	169
Gas de baja presión (l)	$ 0.58	0.65	237	$ 137.61	0.69	251
Electricidad (kWh)	$ 0.20		0	$ 0.00	0.00	0
				$ 272.69	3.04	1109

Figura 7: Demanda Energética para la Producción de Biogás

Para ejecutar este análisis, el usuario tiene que ingresar los siguientes datos:

1. Precio en el mercado de cada tipo de energía utilizada en el hogar (Figura 7, rótulo 1)
2. Consumo de energía de cada tipo de energía utilizada en el hogar (Figura 7, rótulo 2)

Guía: Si la madera combustible se recoge y por tanto no tiene un precio, se recomienda que el usuario utilice un precio aproximado, que se calcule utilizando por ejemplo el precio de la mano de obra y el número de horas requeridas para los tiempos de recolección en las zonas rurales.

5.2 Paso 2: Ingreso de datos

El usuario debe ingresar los datos requeridos haciendo clic en "SIGUIENTE>>Datos de Entrada". Las celdas blancas corresponden a la información que debe ser proporcionada por el usuario. En algunos casos, el valor se limita a un menú desplegable en el que el usuario puede elegir una opción dada. Los resultados se muestran en las celdas grises.

La herramienta proporciona valores predeterminados para algunos de los parámetros (Figura 8, rótulo A).

Estos valores se basan en datos mundiales, por lo tanto, el usuario debe tener en cuenta que al elegir esta opción, los resultados no serían exactos.

Paso 2.A Selección del tipo de estiércol y definición del número de cabezas

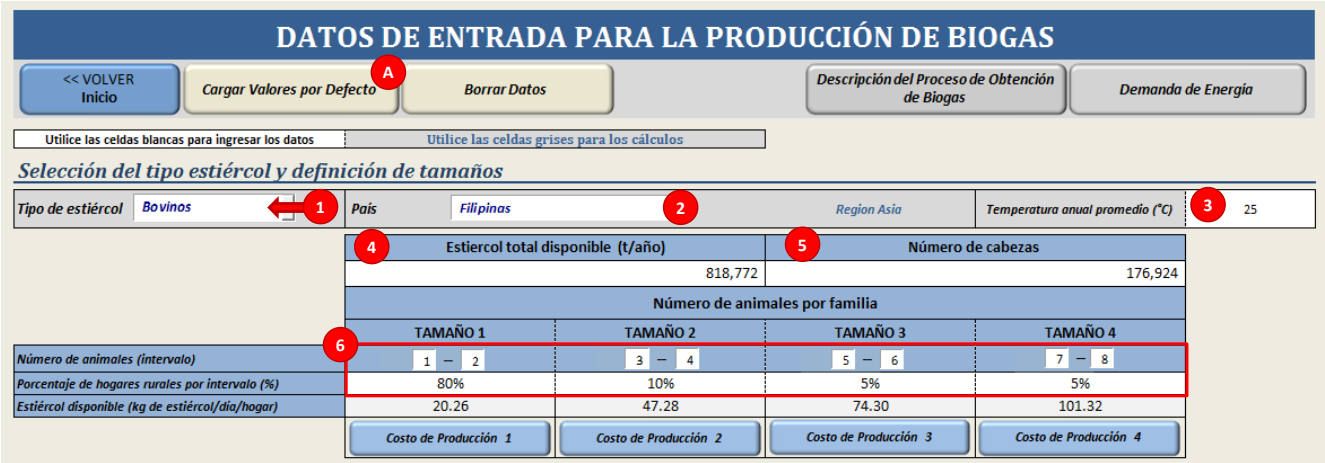


Figura 8: Tipo de Estiércol y Tamaños de Definición

1. **Tipo de estiércol:** Se propone tres opciones estiércol para elegir en el menú desplegable (Figura 8, rótulo 1):
   - Bovinos
   - Búfalos
   - Porcinos
2. **Perfil del País:** El usuario elige del menú desplegable, el país donde se llevará a cabo el análisis e introduce la temperatura ambiente promedio en grados Celsius (Figura 8, rótulos 2 y 3).
3. **Estiércol total disponible (t/año):** El usuario ingresa el estiércol total disponible en el país, tal como se calculó en la *Herramienta de Residuos Ganadero* del módulo de *Recursos Naturales* (Figura 8, rótulo 4).
4. **Número de cabezas**: El usuario ingresa el número de cabezas en el país, tal como se define en la *Herramienta de Residuos Ganadero* del módulo de *Recursos Naturales* (Figura 8, rótulo 5).
5. **Definición Tamaño**: El usuario define el intervalo de número de animales disponibles por hogar mediante el ingreso de los límites superior e inferior de cada celda (Figura 8, rótulo 6).
6. **Hogares rurales por intervalo (%):** El usuario ingresa los porcentajes de los hogares rurales por intervalo que son propietarios de los animales. *Este valor se utiliza para calcular posteriormente el número potencial de hogares que pueden ser beneficiados* (Figura 8, rótulo 6).

Basado en esta información, la herramienta calcula automáticamente la disponibilidad de estiércol en kg de estiércol por día y por hogar.

Para este ejemplo, se seleccionó el estiércol de bovinos en Filipinas. La temperatura ambiente se define como 25°C y todos los otros valores que se muestran en la Figura 8 se utilizan para llevar a cabo el análisis.

Paso 2.B Insumos generales

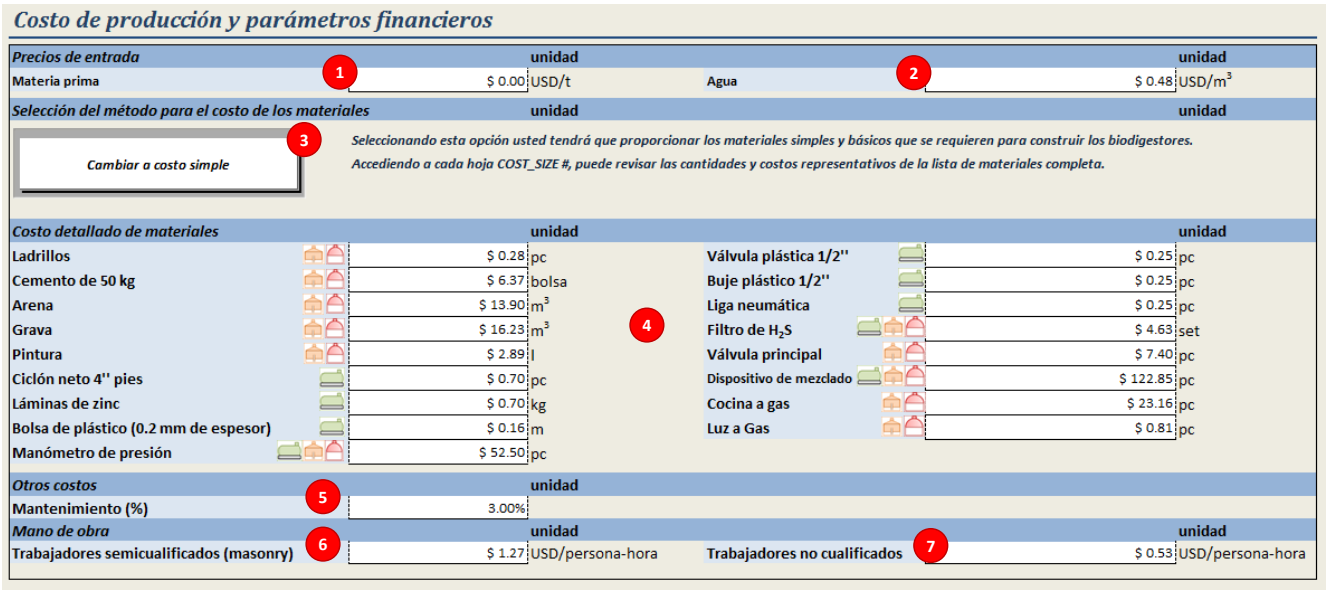


Figura 9a: Insumos generales

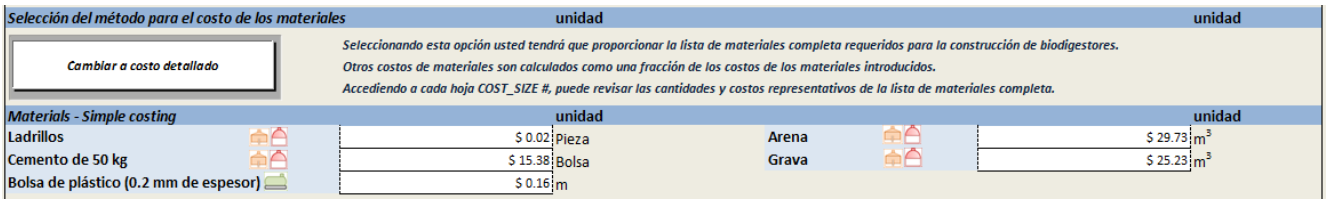

Selección del método para el costo de los materiales
unidad
Cambiar a costo detallado
Seleccionando esta opción usted tendrá que proporcionar la lista de materiales completa requeridos para la construcción de biodigestores.
Otros costos de materiales son calculados como una fracción de los costos de los materiales introducidos.
Accediendo a cada hoja COST_SIZE #, puede revisar las cantidades y costos representativos de la lista de materiales completa.
Materials - Simple costing
unidad
Ladrillos $ 0.02 Pieza
Cemento de 50 kg $ 15.38 Bolsa
Bolsa de plástico (0.2 mm de espesor) $ 0.16 m
Arena $ 29.73 m3
Grava $ 25.23 m3

Figura 9b: Insumos Generales

1. **Precio de insumos:**
   - **Materia prima (USD/t):** En el caso en que el estiércol no es gratuito, el usuario debe ingresar el precio del estiércol como materia prima. Si no hay un precio asociado con el estiércol, el usuario debe ingresar el valor cero -0 – (Figura 9a, rótulo 1).
   - **Agua (USD/m^3):** De igual manera, si hay un precio que va a ser pagado por el agua, el usuario debe introducir este valor. Si el agua es recolectada y no tiene un precio asociado, el usuario debe ingresar el valor cero -0 – (Figura 9a, rótulo 2).

Suposición: El análisis por defecto asume que no hay costos asociados al estiércol y al agua. En lugar de esto, se requerirá tiempo para recoger y mezclar el estiércol y el agua y/o orina.

Para este ejemplo, la materia prima es libre de cargos y el precio del agua es 0.48 USD por metro cubico.

2. **Selección del método de costo de los materiales:** El usuario tiene la opción de seleccionar llevando a cabo el cálculo del costo para la construcción de biodigestores a través de un método simple o un método detallado (Figura 9a, rótulo 3).

- **Método de costo simple:** Este método requiere los precios de los insumos de los ítems que representan mayor costo. Los ítems que representan solo una pequeña proporción del costo, son calculados como un porcentaje del costo de los insumos de mayor costo (Figura 9b).
- **Método de costo detallado:** Este método requiere que el usuario introduzca el precio para todos los ítems necesarios para construir los biodigestores.

3. **Precios de los materiales de construcción:** En este paso, el usuario ingresa los precios actuales de los materiales de construcción necesarios para construir los digestores (Figura 9a, rótulo 4).

4. **Mantenimiento (%):** El usuario tiene que ingresar el porcentaje de mantenimiento del biodigestor con respecto al costo del precio de la construcción. Por ejemplo, el porcentaje sugerido para Tanzania es 1.5 % (GTZ 2007) (Figura 9a, rótulo 5).

5. **Precio de mano de obra (USD/persona-hora):** El usuario ingresa el precio de la mano de obra de los trabajadores semi-cualificados (albañearía) y de los no cualificados en USD por empleado por hora (Figura 9a, rótulos 6 y 7).

Para este ejemplo, los valores mostrados en la Figura 9 fueron utilizados para llevar a cabo el análisis.

Paso 2.C Perfil de los hogares

Perfil de hogares (hh)

Recolección de madera combustible		*Tiempo de uso*	Tiempo promedio de permanencia	unidad
Proporción de madera combustible recolectada por hh (1)	55%	Recolección de madera combustible	1.06 (3)	h/día
Proporción de madera combustible comprada por hh	45%	Cocinar usando madera combustible	2.00	h/día
Oportunidades de generación de ingresos en las zonas rurales por el uso de biogás		*Actividades relacionadas con el biogás*	Tiempo promedio de permanencia	unidad
Proporción de tiempo neto dedicado a la generación de ingresos (%) (2)	20%	Recolección del estiércol	1.00	h/día
		Recolección de agua	0.00	h/día
		Mezcla en el digestor	0.00	h/día

Figura 10: Demanda Energética y Perfil de los Hogares

El usuario definirá aspectos claves del modelo de consumo de energía de una casa rural típica, proporcionando información sobre las siguientes variables:

Nota: Esta información es usada para estimar los potenciales beneficios obtenidos a partir del desarrollo de sistemas de biogás en los hogares. Los valores por defecto están disponibles.

1. **Hogares que recolectan madera combustible (%):** porcentaje de hogares rurales que recogen madera combustible en el país (Figura 10, rótulo 1).
2. **Tiempo dedicado a la recolección de madera combustible y a cocinar**: promedio de horas diarias que pasa un miembro del hogar en (Figura 10, rótulo 3):
   - Recolección de madera combustible (h/día)
   - Cocinar usando madera combustible (h/día)
3. **Tiempo dedicado a operar el digestor:** Una estimación de las horas diarias que pasa un miembro del hogar en (Figura 10, rótulo 3):
   - Recolección del estiércol (h/día)
   - Recolección de agua (h/día)

- Llenando el biodigestor con estiércol – remoción de pajas y mezclado de estiércol con agua para cargar el biodigestor (h/día)

4. **Oportunidades de generación de ingresos en las zonas rurales con ahorro de tiempo a partir del uso de biogás (%):** El usuario deberá introducir un porcentaje del tiempo ahorrado usando biogás que pueden utilizarse potencialmente en otras actividades para la generación de ingresos (Figura 10, rótulo 2). Por ejemplo, en África subsahariana el 20% del ahorro de tiempo podría ser utilizado para la generación de ingresos (Winrock International, 2007).

Guía: Se asume que solamente una parte del tiempo ahorrado a partir del uso de biogás, puede ser utilizad en la generación de actividades, considerando que hay limitadas oportunidades de ganancia en las áreas rurales.

Para este ejemplo, los valores mostrados en la Figura 10 fueron utilizados para llevar a cabo el análisis.

Paso 2.D Beneficios sociales

1. El usuario necesita ingresar los datos de los fertilizantes, principalmente los precios (USD/kg) y el consumo (kg/año) para (Figura 11, rótulo 1):
   - Nitrógeno
   - Fosforo
   - Potasio
2. El usuario también deberá identificar si el estiércol se utiliza en la actualidad directamente como fertilizante. Si es así, el consumo de estiércol (kg/año) se debe introducir (Figura 11, rótulo 2).

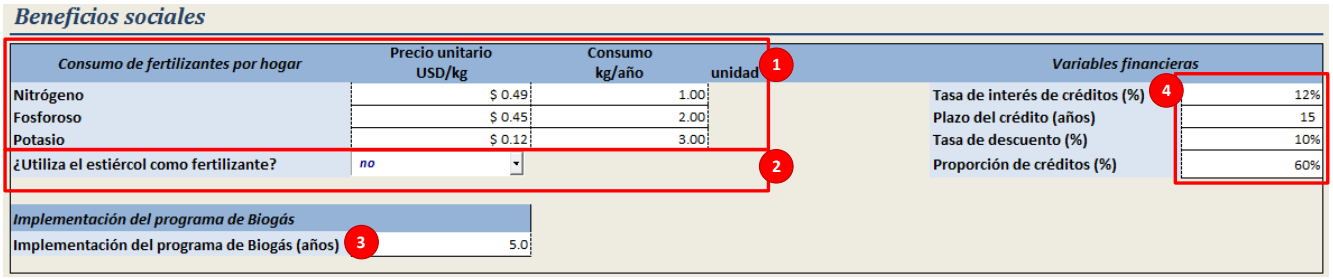


Figura 11: Beneficios Sociales

3. El usuario identifica los valores para los siguientes parámetros financieros (Figura 11, rótulo 4):

   - Tasa de interés de créditos (%)
   - Plazo del crédito (años)
   - Tasa de descuento (%)
   - Proporción de créditos (%)

Guía: Estos datos pueden provenir del Banco Central en el país o de los créditos agrícolas típicos dados a los agricultores en el país.

Guía: Estos datos pueden ser usados para calcular la generación de empleo a partir de la construcción de los biodigestores en el país. El programa generalmente se ejecuta en 5 años.

4. El usuario ingresa el tiempo de ejecución del programa. Este es el período durante el cual los biodigestores se construirán en el país (Figura 11, rótulo 3).

Para este ejemplo, los valores mostrados en la Figura 11 fueron utilizados para llevar a cabo el análisis.

5.3 Paso 3: Cálculo de los costos de producción de biogás

Después de introducir los datos de entrada en los Pasos 1 y 2, el usuario puede hacer clic en cualquiera de los botones de "Costos de Producción" (Figura 12, rótulo 1).

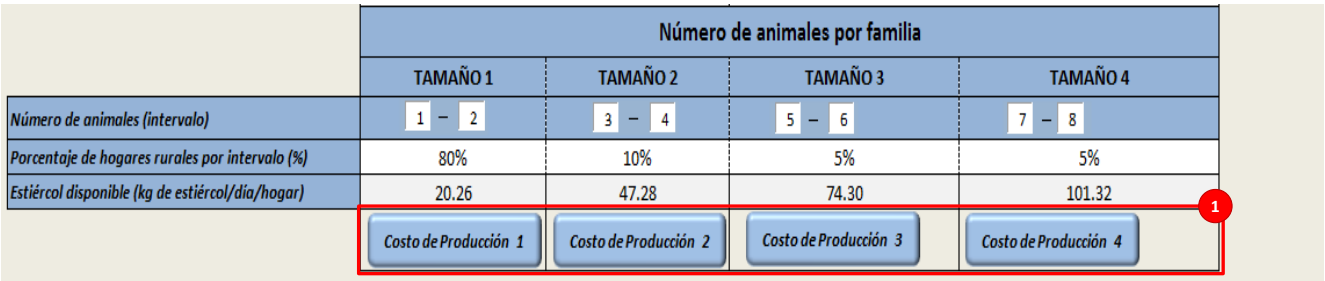


Figura 12: Evaluación de los Costos de Producción

Esto llevará al usuario a la sección de presupuesto del procesamiento para el tamaño de la producción seleccionada (Figura 13).

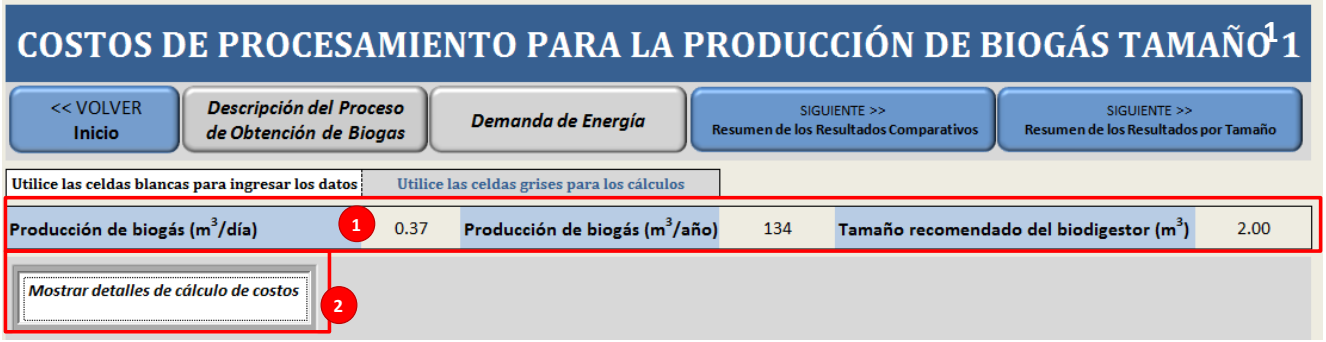


Figura 13: Costo del Procesamiento de Biogás

En esta hoja, el usuario encontrará información sobre la cantidad de biogás que se pueden producir en metros cúbicos por día y metros cúbicos por año y el tamaño recomendado del biodigestor que se puede construir (Figura 13, rótulo 1). El usuario también puede mirar a los métodos de cálculo de los costos de construcción del biodigestor (Figura 13, rótulo 2). Este aspecto se discute en la sección de los resultados.

Para este ejemplo, el Tamaño 1 de la producción de biogás se estima en 0.37 m^3 por día. El tamaño recomendado del biodigestores es de 2 m^3 (Figura 13).

6 Supuestos y Limitaciones del *Componente Biogás Comunitario*

Antes de iniciar el análisis, el usuario debe familiarizarse con las limitaciones y los supuestos de la herramienta y considerarlos durante el análisis, en particular en la interpretación de los resultados.

Las limitaciones del *Componente Biogás Comunitario* son:

1. *Solamente* se consideran el estiércol de los bovinos, búfalos y porcinos.
2. El contenido de sólidos volátiles (SV) en la materia prima debe ser menor a 100 kg/m^3.
3. El análisis del modelo no puede llevarse a cabo utilizando co-digestión o mezclas de más de tipo de estiércol.
4. El modelo opera en un rango de temperaturas entre 5 – 60 °C.
5. El análisis sólo se puede ejecutar para un tipo de estiércol a la vez. El usuario tiene la opción de guardar los resultados del primer análisis y realizar análisis para otro tipo de estiércoles.
6. En la herramienta se analizan 4 tamaños de reactor biodigestor, para un tipo específico de ganado y el respectivo estiércol disponible.
7. El usuario puede optar por realizar el análisis a partir de tres tipos de biodigestores: Domo Fijo, Tambor Flotante y Tubular (bolsa de polietileno).
8. La vida útil del biodigestor es de 20 años tanto para los reactores de domo fijo como el de tambor flotante y 10 años para el reactor tubular. En consecuencia, el análisis financiero para los bioreactores de domo fijo y tambor flotante es de 20 años y para el bioreactor tubular es de 10 años.
9. Los cálculos para determinar el tamaño y para llevar a cabo el cálculo del costo de la construcción de los biodigestores, se basan en el contenido de sólidos volátiles (VS) disponible en el estiércol, de acuerdo a las regiones en el mundo y se basan en la cuantificación realizada en el módulo de *Recursos Naturales*.

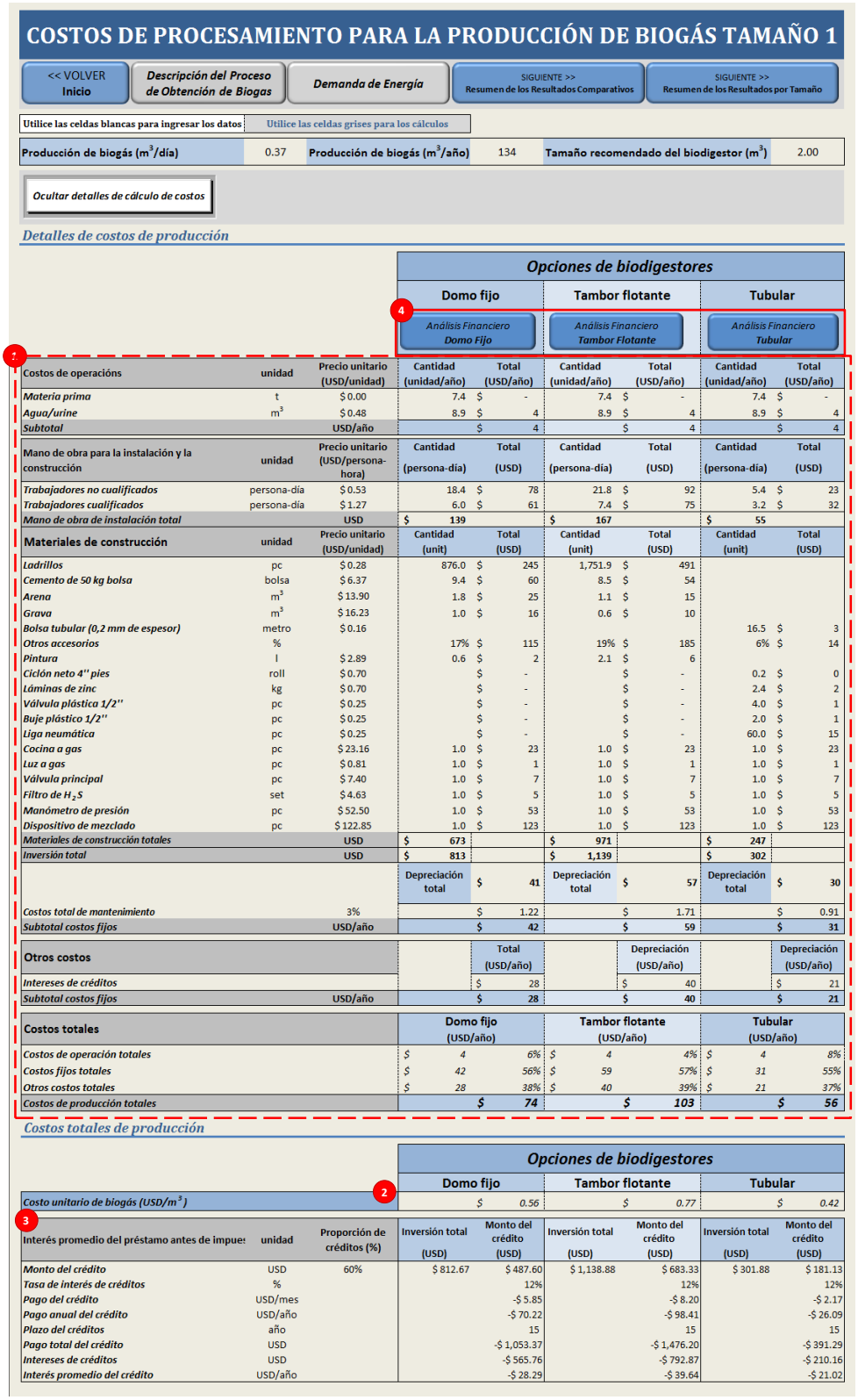
7 Resultados del *Componente Biogás Comunitario*

7.1 Resumen del cálculo de los costos de producción (opcional)

Después de completar todas las entradas requeridas (Pasos 1 a 3), el usuario tiene la opción de ingresar información adicional de los costos de procesamiento para la producción de briquetas haciendo clic en el botón “Costo de Producción #”. Hay cuatro secciones principales de esta hoja de trabajo como se explica a continuación (Figura 14).

- **PARTE 1** (Figura 14, rótulo 1) muestra la distribución de los costos de producción a lo largo de las siguientes categorías: insumos, mano de obra, costos de operación, mantenimiento, inversión e intereses del préstamo. También se resume los costos totales de producción (USD/año) de los tres tipos de biodigestores (Domo fijo, Tambor flotante y Tubular).
- **PARTE 2** (Figura 14, rótulo 2) muestra el costo unitario de biogás (USD/m^3) para cada uno de los tipos de biodigestores.

- **PARTE 3** (Figura 14, rótulo 3) resume los detalles financieros: monto del préstamo, intereses de préstamos, pago anual de préstamos que son usados en el análisis financiero.
- **PARTE 4** (Figura 14, rótulo 4) el botón "Análisis Financiero" abrirá la hoja de trabajo para ir al análisis financiero detallado para cada tipo de biodigestor para el tamaño seleccionado.



COSTOS DE PROCESAMIENTO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS TAMAÑO 1

<< VOLVER Inicio | Descripción del Proceso de Obtención de Biogas | Demanda de Energía | SIGUIENTE >> Resumen de los Resultados Comparativos | SIGUIENTE >> Resumen de los Resultados por Tamaño

Utilice las celdas blancas para ingresar los datos | Utilice las celdas grises para los cálculos

Producción de biogás (m^3/día)	0.37	Producción de biogás (m^3/año)	134	Tamaño recomendado del biodigestor (m^3)	2.00

Ocultar detalles de cálculo de costos

Detalles de costos de producción

			Opciones de biodigestores					
			Domo fijo		Tambor flotante		Tubular	
			Análisis Financiero Domo Fijo		Análisis Financiero Tambor Flotante		Análisis Financiero Tubular	
Costos de operacións	unidad	Precio unitario (USD/unidad)	Cantidad (unidad/año)	Total (USD/año)	Cantidad (unidad/año)	Total (USD/año)	Cantidad (unidad/año)	Total (USD/año)
Materia prima	t	$ 0.00	7.4	$ -	7.4	$ -	7.4	$ -
Agua/urine	m^3	$ 0.48	8.9	$ 4	8.9	$ 4	8.9	$ 4
Subtotal		USD/año		$ 4		$ 4		$ 4
Mano de obra para la instalación y la construcción	unidad	Precio unitario (USD/persona-hora)	Cantidad (persona-día)	Total (USD)	Cantidad (persona-día)	Total (USD)	Cantidad (persona-día)	Total (USD)
Trabajadores no cualificados	persona-día	$ 0.53	18.4	$ 78	21.8	$ 92	5.4	$ 23
Trabajadores cualificados	persona-día	$ 1.27	6.0	$ 61	7.4	$ 75	3.2	$ 32
Mano de obra de instalación total		USD	$ 139		$ 167		$ 55	
Materiales de construcción	unidad	Precio unitario (USD/unidad)	Cantidad (unit)	Total (USD)	Cantidad (unit)	Total (USD)	Cantidad (unit)	Total (USD)
Ladrillos	pc	$ 0.28	876.0	$ 245	1,751.9	$ 491		
Cemento de 50 kg bolsa	bolsa	$ 6.37	9.4	$ 60	8.5	$ 54		
Arena	m^3	$ 13.90	1.8	$ 25	1.1	$ 15		
Grava	m^3	$ 16.23	1.0	$ 16	0.6	$ 10		
Bolsa tubular (0,2 mm de espesor)	metro	$ 0.16					16.5	$ 3
Otros accesorios	%		17%	$ 115	19%	$ 185	6%	$ 14
Pintura	l	$ 2.89	0.6	$ 2	2.1	$ 6		
Ciclón neto 4'' pies	roll	$ 0.70		$ -		$ -	0.2	$ 0
Láminas de zinc	kg	$ 0.70		$ -		$ -	2.4	$ 2
Válvula plástica 1/2''	pc	$ 0.25		$ -		$ -	4.0	$ 1
Buje plástico 1/2''	pc	$ 0.25		$ -		$ -	2.0	$ 1
Liga neumática	pc	$ 0.25		$ -		$ -	60.0	$ 15
Cocina a gas	pc	$ 23.16	1.0	$ 23	1.0	$ 23	1.0	$ 23
Luz a gas	pc	$ 0.81	1.0	$ 1	1.0	$ 1	1.0	$ 1
Válvula principal	pc	$ 7.40	1.0	$ 7	1.0	$ 7	1.0	$ 7
Filtro de H_2S	set	$ 4.63	1.0	$ 5	1.0	$ 5	1.0	$ 5
Manómetro de presión	pc	$ 52.50	1.0	$ 53	1.0	$ 53	1.0	$ 53
Dispositivo de mezclado	pc	$ 122.85	1.0	$ 123	1.0	$ 123	1.0	$ 123
Materiales de construcción totales		USD	$ 673		$ 971		$ 247	
Inversión total		USD	$ 813		$ 1,139		$ 302	
			Depreciación total	$ 41	Depreciación total	$ 57	Depreciación total	$ 30
Costos total de mantenimiento		3%		$ 1.22		$ 1.71		$ 0.91
Subtotal costos fijos		USD/año		$ 42		$ 59		$ 31
Otros costos				Total (USD/año)		Depreciación (USD/año)		Depreciación (USD/año)
Intereses de créditos				$ 28		$ 40		$ 21
Subtotal costos fijos		USD/año		$ 28		$ 40		$ 21
Costos totales			Domo fijo (USD/año)		Tambor flotante (USD/año)		Tubular (USD/año)	
Costos de operación totales			$ 4	6%	$ 4	4%	$ 4	8%
Costos fijos totales			$ 42	56%	$ 59	57%	$ 31	55%
Otros costos totales			$ 28	38%	$ 40	39%	$ 21	37%
Costos de producción totales				$ 74		$ 103		$ 56

Costos totales de producción

			Opciones de biodigestores					
			Domo fijo		Tambor flotante		Tubular	
Costo unitario de biogás (USD/m^3)				$ 0.56		$ 0.77		$ 0.42
Interés promedio del préstamo antes de impue	unidad	Proporción de créditos (%)	Inversión total (USD)	Monto del crédito (USD)	Inversión total (USD)	Monto del crédito (USD)	Inversión total (USD)	Monto del crédito (USD)
Monto del crédito	USD	60%	$ 812.67	$ 487.60	$ 1,138.88	$ 683.33	$ 301.88	$ 181.13
Tasa de interés de créditos	%			12%		12%		12%
Pago del crédito	USD/mes			-$ 5.85		-$ 8.20		-$ 2.17
Pago anual del crédito	USD/año			-$ 70.22		-$ 98.41		-$ 26.09
Plazo del créditos	año			15		15		15
Pago total del crédito	USD			-$ 1,053.37		-$ 1,476.20		-$ 391.29
Intereses de créditos	USD			-$ 565.76		-$ 792.87		-$ 210.16
Interés promedio del crédito	USD/año			-$ 28.29		-$ 39.64		-$ 21.02

Figura 14: Costos de Producción Detallados en la Producción de Biogás

Para este ejemplo, los costos de producción de domo fijo es $74 USD por año. El costo unitario del biogás es $0.56 centavos de USD por m^3. El interés promedio es $28 USD por año. Para los otros biodigestores diríjase a la Figura 14.

7.2 Resumen de resultados por tamaño

Los resultados para el *Componente Biogás Comunitario* se presentan a lo largo de cuatro categorías principales: Los Costos de Producción y Las Inversiones; Beneficios Sociales; Beneficios Económicos; y Análisis Financiero.

1. El usuario selecciona primero el tamaño del biodigestor (Figura 15, rótulo 1) que debe ser escogido del menú desplegable. Se generarán los resultados de ese tamaño específico.
2. Los resultados del costo de producción e las inversiones se presentan de la siguiente manera:
   - Costo de producción de biogás (USD/m^3) (Figura 15, rótulo 2) para cada tipo de bioreactor.
   - Electricidad equivalente base (USD/kWh equivalente): El usuario elige primero los combustibles convencionales para llevar a cabo el análisis comparativo, haciendo clic en las celdas de los combustibles (Figura 15, rótulo 3).
   - Costo total de inversión (USD) de biogás para cada tipo de bioreactor (Figura 15, rótulo 4).

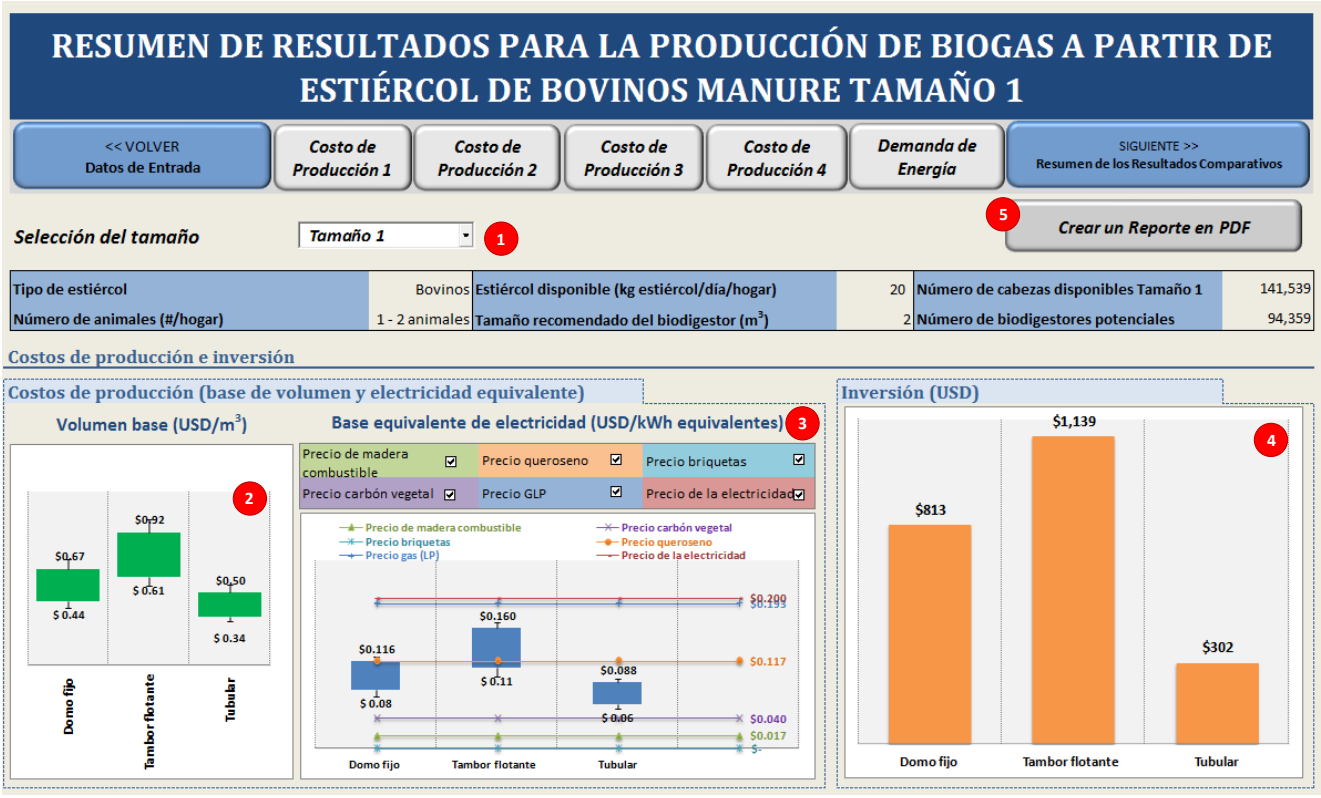


Figura 15: Resultados de Costos de Producción y de la Inversión

Para el tamaño 1, el costo de producción más bajo es para el biodigestor tubular el cual está entre 0.088 y 0.06 USD por kWh. Este costo de producción es menor que el precio del carbón en el país, pero más alto que el precio de la madera combustible. El costo de producción más bajo es requerido para el biodigestor tubular. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el reactor tubular tiene una vida útil de sólo 10 años en comparación con los 20 años de vida útil para el domo fijo y el tambor flotante. Para otros biodigestores diríjase a la Figura 15.

3. Los resultados sobre los beneficios sociales se presentan de la siguiente manera:
    - El número de hogares que pueden ser suministrados con biogás, basado en la información nacional de la disponibilidad de biogás (Figura 16, rótulo 1).
    - Demanda de energía que la producción de biogás de un biodigestor puede suministrar a nivel de hogares (Figura 16, rótulo 1).
    - Empleos generados durante el período de ejecución del programa de biogás a nivel nacional (Figura 16, rótulo 2).
    - Balance neto del tiempo de consumo por hogar (Figura 16, rótulo 3). Si es positivo, esto significa el tiempo ahorrado a partir del uso de biogás cuando es comparado con los combustibles actuales.
    - Cantidad producida de bio-lodo en fertilizante equivalente por el reactor de biogás por hogar (Figura 16, rótulo 4). Los resultados también calculan el valor de bio-lodos al estiércol puro. Esto se hace mediante la asignación de un valor de nitrógeno superior al del bio-lodo (N - fertilizante mejorado) en comparación con el estiércol puro.

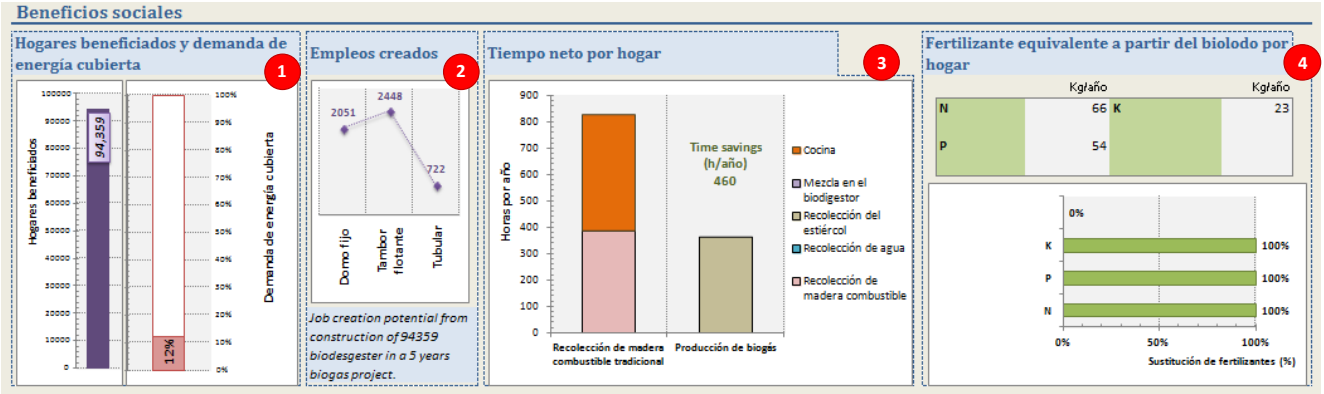


Figura 16: Resultados de Beneficios Sociales

Para el ejemplo del Tamaño 1, se benefician 94,359 hogares. El número potencial de empleos que se puede generar para la construcción de los biodigestores, en un programa de 5 años varía desde 722 hasta más de 2448. El cambio a los sistemas de biogás puede liberar 500 horas por año para el hogar en comparación con la opción tradicional de combustible. Los bio-lodos que son co-generados a partir de biogás es equivalente a 66 kg de nitrógeno y puede sustituir a los fertilizantes químicos de nitrógeno (Figura 16).

4. Los resultados de beneficios económicos muestran que el ahorro de combustible y dinero generado a partir de la producción de biogás incluye lo siguiente (Figura 17):
    - Ahorro monetario obtenido a partir del desplazamiento del uso de los actuales combustible por el uso de biogás. Por ejemplo la compra de carbón.
    - Los beneficios económicos implícitos asociados con los bio-lodos. Esto se basa en la valoración de los bio-lodos como fertilizante.
    - La valoración del tiempo que se ahorra en el supuesto de que una parte de este tiempo puede ser utilizado por el hogar para la generación de ingresos por medio de otras oportunidades en el campo.

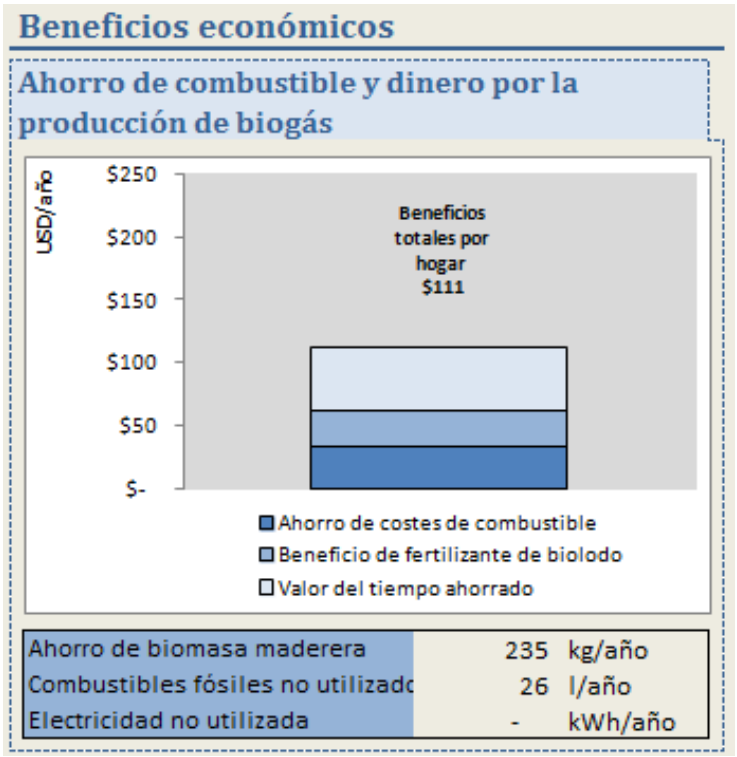


Figura 17: Resultados de Beneficios Económicos

Para el ejemplo del Tamaño 1, el uso de biogás puede ahorrar cerca de 235 kg por año de biomasa. Esto puede eliminar el uso de 10 litros de combustible fósil equivalente. La sustitución de biogás a las actuales fuentes de uso de energía teniendo en consideración el combustible ahorrado, los beneficios a partir del bio-lodo generado como fertilizante y la valoración del tiempo que puede obtenerse por hogar es cerca de 111 USD por año (Figura 17).

5. El análisis financiero (antes de impuestos) proporciona medidas de la factibilidad para la instalación de los biodigestores. También indica el potencial de los hogares para instalar los reactores. Si los valores no son viables, esto indica la necesidad de la intervención del gobierno a través de un análisis más profundo, si el país decide desarrollar un programa de biogás. Los dos principales indicadores financieros que se utilizan en la evaluación son:
    - Valor Presente Neto (VPN) (Figura 18, rótulo 1)
    - Tasa Interna de Retorno (TIR) (Figura 18, rótulo 2)

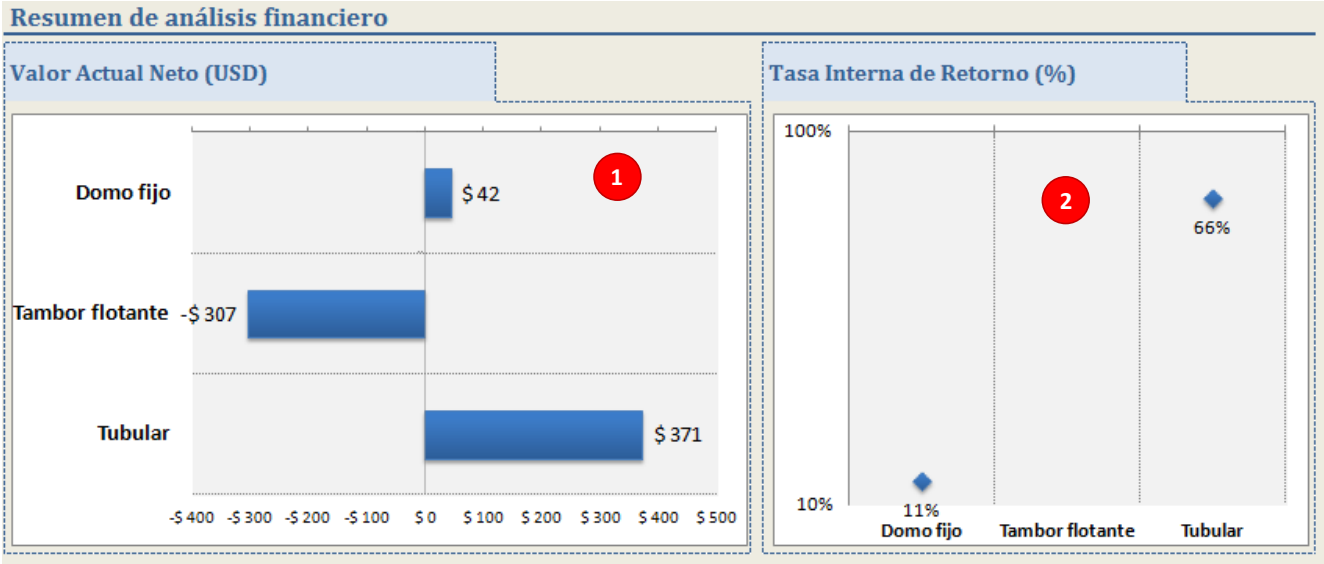


Figura 18: Resultados del Análisis Financiero

Para el ejemplo del Tamaño 1, las variables financieras indican que el digestor tubular es la más viable. Sin embargo, el usuario debería considerar que la vida útil del digestor tubular es 10 años y tendrá que ser sustituido después de este tiempo. Otras consideraciones incluyen la posibilidad de que esta tecnología será apropiada para el contexto local en términos de las condiciones ambientales y culturales. Por otra parte las variables financieras también deben considerarse en combinación con los resultados socio-económicos presentados anteriormente (Figura 18).

El usuario puede guardar e imprimir los resultados en formato PDF mediante el uso del botón "Crear un Reporte en PDF" y siguiendo las instrucciones (Figura 15, rótulo 5).

7.3 Resumen de los resultados comparativos

En esta sección, el usuario puede comparar los resultados entre los distintos tamaños que se evaluaron.

1. La comparación de los resultados se presenta sobre:
   - Hogares potencialmente beneficiados (Figura 19, rótulo 1)
   - El costo de producción (USD/m^3) (Figura 19, rótulo 2)
   - El costo de producción (USD/kWh equivalente) (Figura 19, rótulo 2)
   - La generación de empleo (Figura 19, rótulo 3)
2. Una comparación de los resultados financieros antes de impuestos se genera para:
   - Valor Presente Neto (VPN) (USD) (Figura 19, rótulo 4)
   - Tasa Interna de Retorno (TIR) (%) (Figura 19, rótulo 5)

El usuario puede guardar e imprimir los resultados en formato PDF mediante el uso del botón "Crear un Reporte en PDF" y siguiendo las instrucciones (Figura 19, rótulo 6).

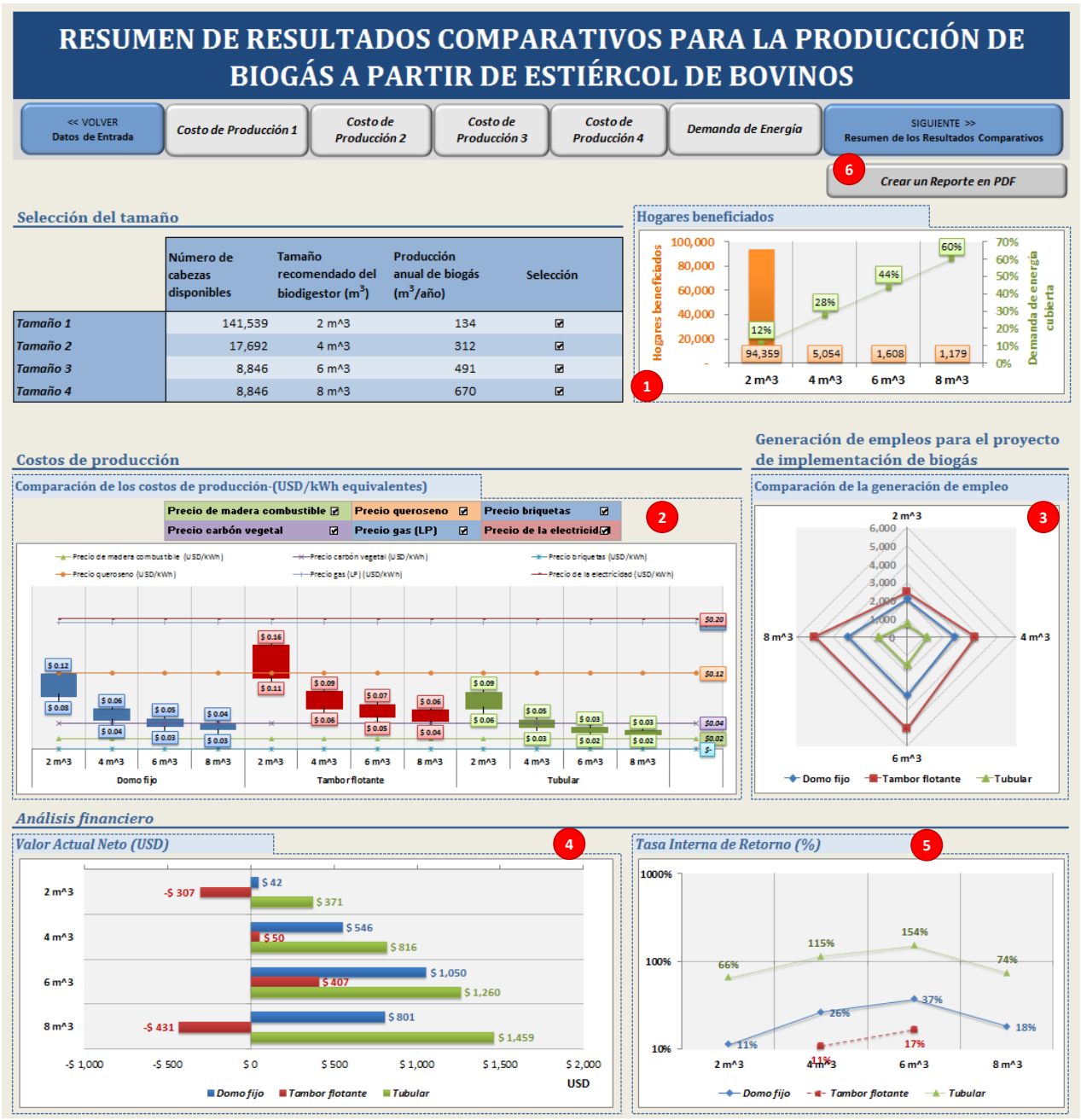


Figura 19: Esquema de los Resultados Comparativos

Para este ejemplo, la información generada indica que para todos los tamaños de la opción tubular, otorga los mayores rendimientos dado los bajos requerimientos de inversión para esta alternativa. Sin embargo, el potencial de generación de empleo de esta opción es la más baja comparado con las alternativas consideradas, y podría representar una buena opción para apoyar la generación de empleo rural.

También es importante analizar que, dado el importante volumen de hogares que poseen el intervalo más bajo de los animales (3-4), los digestores de tamaño más viables serían los de la categoría 4 m^3 (Tamaño 1). Esta cantidad de producción de biogás, sólo va a satisfacer un 28% de la demanda energética actual de los hogares. En consecuencia, para obtener un mayor abastecimiento de la demanda de energía, sería conveniente promover asociaciones entre las cabezas de familia, con el fin de aumentar el estiércol disponible y así alimentar una opción de mayor tamaño, como el Tamaño de 4 a 8 m^3, donde la energía suministrada puede suplir 60% de la demanda (Figura 19).

La herramienta pretende ayudar a responder a las siguientes preguntas:

- ¿Qué cantidad de biogás se puede producir de acuerdo con el tipo y la disponibilidad de animales en los hogares rurales?
- ¿Qué tamaño de biodigestor se construye en función del tipo y la disponibilidad de estiércol en los hogares rurales?
- ¿Qué tipo de reactor biodigestor puede ser considerado y cuánto costaría construir diferentes reactores biodigestores?
- ¿Qué cantidad del consumo actual de energía en los hogares rurales (madera combustible, carbón, queroseno, etc.) pueden sustituir al biogás?
- ¿Cuáles son los beneficios no económicos de la producción de biogás a partir de la utilización de bio-lodos, ahorro de tiempo y evitar el uso de madera combustible y/o carbón?

8 Anexo

8.1 Metodología y Resultados

En esta sección se describen las metodologías integradas en el *Componente Biogás Comunitario*. También incluye una descripción de las ecuaciones que apoyan el análisis. Las ecuaciones no son visibles al usuario, pero su estructura y contenido podrían ser importantes para aquellos que las actualizan y/o trabajan en mejorar la herramienta.

8.1.1 Producción volumétrica de biogás

Con el fin de calcular la tasa de producción volumétrica de biogás, se utilizó el modelo de Contoin mediante el uso de la ecuación general (Hashimoto, Chen et al. 1981):

$$Y_p = B_0 SV_0 \left[1 - \frac{k}{\theta\mu_m - 1 + k}\right] \times \left[\frac{\dot{m}_{estiércol}}{\rho_{estiércol}} + \frac{\dot{m}_{agua}}{\rho_{agua}}\right]$$

Y_p : Tasa de producción volumétrica de metano (m^3 CH_4/d)
B_0 : Rendimiento ultimo de metano (m^3 CH_4/Kg SV)
SV_0 : Concentración inicial de sólidos volátiles (kd SV/m^3)
k : Parámetro cinético (adimensional)
θ : Tiempo de digestión (d)
μ_m : Velocidad específica máxima (1/d)
$\dot{m}_{estiércol}$: Tasa de estiércol (kg/d)
$\rho_{estiércol}$: Densidad de estiércol (kg/m^3)
$\dot{m}_{agua}$: Tasa de agua (kg/d)
ρ_{agua} : Densidad del agua (kg/m^3) = 1000 kg/m^3

Velocidad específica: $\mu_m = 0{,}066[1 + 1100e^{-0{,}187T}]^{-0{,}546}$

μ_m : Velocidad específica máxima (1/d)
T : Temperatura ambiental (ºC) $5 \leq T \leq 60$

Tiempo de digestión: $\theta = 122{,}16e^{-0{,}05T}$

θ : Tiempo de digestion (d)
T : Temperatura ambiental (ºC)

Parámetros cinéticos:

Búfalo: $\mathrm{k} = 0{,}6 + 0{,}021\mathrm{e}^{0{,}05\mathrm{SV}_0}$

Bovinos: $\mathrm{k} = 0{,}8 + 0{,}01\mathrm{e}^{0{,}06\mathrm{SV}_0}$

Porcinos: Si $\mathrm{SV}_0 \leq 58{,}6\ {}^{\mathrm{kg}}/_{\mathrm{m}^3}$ $\mathrm{k} = 0;$

Si $\mathrm{SV}_0 > 58{,}6\ {}^{\mathrm{kg}}/_{\mathrm{m}^3}$ $\mathrm{k} = 0{,}0866\mathrm{SV}_0 + 4{,}2755$

Una vez que se conoce la tasa de producción volumétrica de metano, la tasa de producción volumétrica de biogás puede ser calculada teniendo en cuenta el porcentaje de metano en el biogás, dependiendo del estiércol que haya sido utilizado.

8.1.2 Material de construcción

Los materiales necesarios para la construcción de los diferentes tipos de digestores de diferentes volúmenes se han utilizado para evaluar las regresiones, la obtención de las ecuaciones lineales en la forma aV + b = c, se obtuvieron utilizando el método de mínimos cuadrados, donde *a* y *b* son la pendiente y el intercepto, respectivamente; V es el volumen del digestor y *c* es la cantidad del material requerido. Las constantes *a* y *b*, se muestran en la "Regresión de los Materiales del Reactor" hoja para los digestores de domo fijo, tambor flotante (Jatinder-Singh and Singh-Sooch 2004; Khandelwal 2007) y tubular (Martí 2008; Filomeno, Bron et al. 2010; Filomeno, Fernández et al. 2010).

8.1.3 Propiedades del estiércol

Tabla 1: Propiedades Básicas del Estiércol

Propiedad	Estiércol			Referencia
	Búfalos	Bovinos	Porcinos	
Densidad (kg/m^3)	960	960	1140.9	(Hubbard and R.R. ; Queenland Government ; Tao and Mancl)
Sólidos volátiles	0.1364	0.1325	0.2360	(Alvarez. Villca et al. 2006)

Tabla 2: Análisis Último del Estiércol

Estiércol	C (%)	H (%)	N (%)	S (%)	O (%)	C/N	Referencia
Búfalos	32.90		1.70			19.00	(Thi Ngo. Rumpel et al. 2011)
Bovinos	50.39	5.77	3.94	1.31	38.58	12.80	(Santoianni. Bingham et al. 2008)
Porcinos	48.44	7.07	4.90	0.93	38.66	9.89	(O'Palko. Jensen et al. 2003)

Tabla 3: Análisis Próximo del Estiércol

Estiércol	Humedad (%)	Materia volátil (%)	Carbono fijo (%)	Ceniza (%)	Referencia
Búfalos	73.49				(Rashad. Saleh et al. 2010; Thi Ngo. Rumpel et al. 2011)
Bovinos	36.60	31.60	6.60	25.20	(Santoianni. Bingham et al. 2008)
Porcinos	7.22	52.32	11.33	29.13	(O'Palko. Jensen et al. 2003)

Tabla 4: Propiedades del Modelo de Contoin

Bo (m^3/Kg SV)	Estiércol			Referencia
	Búfalos	**Bovinos**	**Porcinos**	
Norte América	0.10	0.19	0.48	(Hashimoto. Chen et al. 1981)
Europa occidental	0.10	0.18	0.45	
Europa del Este	0.10	0.17	0.45	
Oceanía	0.10	0.17	0.45	
Latinoamérica	0.10	0.10	0.29	
África	0.10	0.10	0.29	
Oriente Medio	0.10	0.10	0.29	
Asia	0.10	0.10	0.29	
Subcontinente Indio	0.10	0.10	0.29	

8.1.4 Propiedades del Biogás

Tabla 5: Composición del Biogás

Composición	Estiércol		
	Búfalos	**Bovinos**	**Porcinos**
CH_4	0.591	0.577	0.588
CO_2	0.343	0.375	0.387
H_2	4.766E-2	3.250E-3	4.900E-3
N_2	1.573E-2	0.025	0.015
CO	9.532E-4	3.250E-3	0
O_2	9.532E-4	0.010	0
H_2S	4.766E-4	0.006	5.100E-3
NH_3	9.533E-5	5.000E-4	0
Reference	(Flores 2009)		

8.1.5 Propiedades de Bio-lodos

Tabla 6: Valores de N-P-K de los Bio-lodos

Estiércol	Concentración de nutrientes en base seca			Referencias
	N (kg N/kg bio-lodos)	**P (Kg P2O5/kg bio-lodos)**	**K (Kg K2O/kg bio-lodos)**	
Búfalos	0.0105	0.0082	0.0055	(Islam 2006)
Bovinos	0.0170	0.0140	0.0060	
Porcinos	0.0220	0.0180	0.0080	

8.1.6 Cálculos

Ítem	Ecuaciones y Supuestos	Observaciones
Demanda de Energía		
Combustible anual $_i$ Consumo de los hogares (biogás equivalente por año)	$AF_i = \frac{Fuel_i}{Be_i}$ Dónde: AFi = Consumo anual de combustible i Fuel $_i$ = Consumo del combustible i (kg/día) i = Briqueta, Madera combustible, Carbón, queroseno y LPG	Combustible $_i$ (kg/día) es ingresado por el usuario
Consumo anual de biogás equivalente (toneladas por año)	$ABe = \sum \frac{AF_i}{CF_i}$ Dónde: ABe = Biogás anual equivalente AFi = Consumo anual de combustible i CFi = Factor de conversión del combustible i i = Briqueta, Madera combustible, Carbón, queroseno y LPG	Tabla 10 CF de briqueta = 1 kg/ kg $_{biogás}$ CF de madera combustible =6.11 kg/kg $_{biogás}$ CF de carbón = 1.14 kg/kg $_{biogás}$ CF de queroseno = 0.32kg/kg $_{biogás}$ CF de LPG = 0.26 kg/kg $_{biogás}$ (Young & Khennas, 2003)
Gasto energético del combustible i (USD por año)	$EE_i = \text{Precio unitario combustible i x } AF_i$ Dónde: EEi = Gasto energético del combustible i Precio unitario del combustible i (USD/kg) AFi = Consumo anual del combustible i i = briqueta, madera combustible, carbón, queroseno y lpg	Precio unitario del combustible i (USD/kg) es ingresado por el usuario
Ingresos potenciales (USD/año)	Biogás m^3 por año x Precio en el Mercado de la sustitución de combustibles	Datos ingresados por el usuario
Otros Cálculos		
Tiempo ahorrado	Tiempo ahorrado=Tiempo requerido para recolectar y utilización de la madera – Tiempo requerido para producir biogás	Datos ingresados por el usuario
Bio-lodo equivalente a fertilizante	Bio-lodo equivalente a fertilizante=Bio-lodo producido x Contenido de nitrógeno en el fertilizante x 0.5 Se asume que solo el 50% del bio-lodo es usado.	Datos ingresados por el usuario
Generación de empleo		

8.2 Datos requeridos para ejecutar la herramienta

La Tabla 7 incluye los datos requeridos para ejecutar el *Componente Biogás Comunitario*. Se proporciona una fuente de datos sugerido.

Tabla 7: Datos Requeridos para Ejecutar la Herramienta

Datos	Definición y Fuentes
Estiércol del ganado	El usuario selecciona el tipo de estiércol para el análisis y proporciona información sobre el número de cabezas de animales por hogar, con el fin de estimar el contenido de sólidos volátiles (SV) necesario en el modelo técnico. El modelo está configurado para llevar a cabo el análisis de 4 tamaños diferentes de biodigestores basados en esta información.
Selección del país	El usuario identifica el país que desea analizar.
Temperatura ambiente	El usuario proporciona la temperatura ambiente en grados Celsius (°C); esta puede ser una temperatura promedia del país.
Precio de materia prima (USD/tonelada)	El usuario introduce el costo de estiércol.
Precio del agua (USD/m^3)	El usuario introduce el precio del agua.
Precio de material de construcción	El usuario introduce el precio de los materiales de construcción necesarios para la construcción del biodigestor.
Precio de los combustibles utilizados para la calefacción y la cocina	El usuario introduce la información sobre el precio de la madera combustible, el carbón vegetal, el queroseno, el LPG y el nivel de consumo en los hogares rurales.
Porcentaje de madera combustible recolectada	El usuario proporciona un porcentaje estimado de los hogares rurales que recogen madera combustible. Este valor se utiliza para calcular el porcentaje estimado de los hogares en las zonas rurales que compran madera combustible.
Costo de mano de obra	El usuario ingresa los datos sobre los salarios estimados por hora (USD por hora) para el albañil y ayudantes de construcción.
Consumo de Abonos y Fertilizantes	El usuario identifica el consumo (kg/año) de estiércol y fertilizantes (nitrógeno, fósforo, potasio) por hogar y sus respectivos precios.
Uso del tiempo de recolección de combustible	Utilice los valores por defecto proporcionados por la herramienta o la información ingresada por el usuario sobre el tiempo que los hogares rurales emplean en la recolección de madera combustible, estiércol y agua, y la preparación del estiércol para el digestor (mezcla) y la cocina.
Parámetros Financieros	El usuario facilita la información sobre los parámetros financieros: ○ Tasa de Descuento (%) ○ Tasas de interés del préstamo (%) ○ Plazo del préstamo (años) ○ Índice de Cartera (%) ○ Índice del Costo de Plantas http://base.intratec.us/home/ic-index Esta información puede provenir de préstamos actuales dados por los bancos agrícolas a los pequeños agricultores.
Tipos y cantidades de combustibles típicos utilizados para la calefacción y la cocina	Los combustibles son el carbón, la madera combustible, el queroseno, briquetas, la electricidad y el LPG que se utiliza para la calefacción y para la cocina en los hogares urbanos y rurales (unidad original de combustible por día por hogar).
Precio de los combustibles utilizados para calefacción y cocina	El precio actual de los combustibles como el carbón vegetal, madera combustible, queroseno, briquetas, la electricidad y el LPG en USD por unidad original de combustible.

9 Referencias

Alvarez, R., S. Villca, et al. (2006). "Biogas production from llama and cow manure at high altitude." Biomass and Bioenergy**30**(1): 66-75.

Filomeno, S., W. Bron, et al. (2010). "Estudio de la factibilidad para un programa de biogas en Honduras, Tegucigalpa."

Filomeno, S., M. Fernández, et al. (2010). "Estudio de la factibilidad para un programa de biogas en Nicaragua. Nicaragua."

Flores, E. (2009). "Producción de Energía Mediante Estiércol de Vaca." Primer Foro Regional de Análisis del Potencial Energético Renovable

Hashimoto, A. G., Y. R. Chen, et al. (1981). "Anaerobic Fermentation of Beef Cattle Manure." Final Report to Solar Energy Research Institute. U.S. Department of Energy.

Hubbard, R. K. and L. R.R. "Management of Diary Cattle Manure. http://www.ars.usda.gov."

Islam, M. S. (2006). "Use of Bioslurry as Organic Fertilizer in Bangladesh Agriculture." Prepared for Presentation at the International Workshop on the Use of Bioslurry Domestic Biogas Programmes.

Jatinder-Singh, K. and S. Singh-Sooch (2004). "Comparative study of economics of different models of family size biogas plants for state of Punjab, India." Energy conversion and Management**45**: 1329 - 1341.

Khandelwal, K. C. (2007). "Country Report on Financing of Domestic Biogas Plants in India."

Martí, J. (2008). "Biodigestores familiares. Guia de diseño y manual de instalación. Biodigestores de polietileno tubular de bajo costo para trópico, valle y altiplano." Cooperación Técnica Alemana - GTZ. Programa de Desarrollo Agropecuario (PROAGRO). Componente Acceso a Servicios Energéticos. Bolivia.

O'Palko, A., M. D. Jensen, et al. (2003). Advanced Heterogeneous Reburn Fuel from Coal and Hog Manure. Final Report A. C. U. S. D. o. E. N. E. T. Laboratory.

Queenland Government "Manure Production Data. Department of Agriculture, Fisheries and Forestry. www.daff.qld.gov.au."

Rashad, F. M., W. D. Saleh, et al. (2010). "Bioconversion of rice straw and certain agro-industrial wastes to amendments for organic farming systems: 1. Composting, quality, stability and maturity indices." Bioresource Technology**101**: 5952–5960.

Ratamu, I. (1999). "Low Cost Biodigestors for Zero Grazing Smallholder Dairy Farmers in Tanzania." Livestock Research for Rural Development**11**(2).

Santoianni, D. A., M. F. Bingham, et al. (2008). "Power from Animal Waste – Economic, Technical, and Regulatory Landscape in the United States." Journal of EUEC**2**.

Schmitz, T. D. (2007). Feasibility Study for a National Domestic Biogas Programme in Tanzania, Biogas for Better Life - an African Initiative.

Tao, J. and K. Mancl "Estimating Manure Production, Storage Size and Land Application Area. Fact Sheet. Agriculture and Natural Resources. The Ohio State University Extension."

Thi Ngo, P., C. Rumpel, et al. (2011). "Transformation of buffalo manure by composting or vermicomposting to rehabilitate tropical soils." Ecological engineering**37**: 269-276.